

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra fyzické geografie a geoekologie



**AKUMULACE A TÁNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY  
V POVODÍ ROKYTKY  
V HYDROLOGICKÝCH LETECH 2007 A 2008**

SNOW COVER ACCUMULATION AND SNOWMELT  
IN ROKYTKA CATCHMENT  
IN HYDROLOGICAL YEARS 2007 AND 2008

Diplomová práce

Jan Jelínek

srpen 2008

Vedoucí diplomové práce: Doc. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citoval.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena ve fondu knihovny.

V Praze dne 28. srpna 2008

.....

Jan Jelínek

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce Doc. RNDr. Bohumíru Janskému, CSc. za cenné rady a připomínky. Dále patří můj velký dík všem členům a studentům Katedry fyzické geografie a geoekologie, kteří se účastnili prací v terénu, bez kterých by tato práce nikdy nevznikla. Děkuji rovněž českobudějovické pobočce ČHMÚ za poskytnutá data stejně jako německé Deutscher Wetterdienst.

## **Akumulace a tání sněhové pokrývky v povodí Rokytky v hydrologických letech 2007 a 2008**

### **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá problematikou hydrologie sněhu aplikovanou na modelovém povodí Rokytky situovaném v horské oblasti Šumavy. Prezentovány jsou výsledky sněhoměrných terénních prací, které měli za úkol postihnout prostorovou variabilitu charakteristik sněhové pokrývky a umožnit odhad zásob vody akumulovaných ve sněhu v hydrologických letech 2007 a 2008. To je konfrontováno s daty, která jsou dostupná z okolních meteorologických stanic. Následně je v práci ukázána možnost identifikace období jarního tání a je provedena analýza odtoku během příslušné části zimní a jarní sezony.

**Klíčová slova:** hydrologie sněhu, sněhová pokrývka, vodní hodnota sněhu, Šumava

## **Snow cover accumulation and snowmelt in Rokytka catchment in hydrological years 2007 and 2008**

### **Abstrakt**

This diploma thesis deals with the question of snow hydrology applied in Rokytka catchment area which is situated in Šumava mountains. The outputs of field snow measurements are presented. They were undertaken in hydrological years 2007 and 2008 to show the spatial variability of snow cover accumulations and to estimate volume of water stored in the snow cover. These observations are confronted with the available data from surrounding meteorological stations. Further part is focused on possible method of estimation the spring snowmelt period. Analysis of discharge in winter and spring period is also presented.

**Keywords:** snow hydrology, snow cover, snow water equivalent, Šumava mountains

---

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
1.1	CÍLE PRÁCE .....	9
1.2	STRUKTURA PRÁCE.....	9
<b>2</b>	<b>ÚVOD DO PROBLEMATIKY HYDROLOGIE SNĚHU .....</b>	<b>10</b>
2.1	VÝZNAM SNĚHU A SNĚHOVÉ POKRÝVKY .....	10
2.2	ZÁKLADNÍ POJMY CHARAKTERIZUJÍCÍ SNĚHOVOU POKRÝVKU .....	12
2.3	VÝVOJOVÉ FÁZE SNĚHOVÉ POKRÝVKY .....	13
2.3.1	<i>Akumulace sněhové pokrývky.....</i>	<i>13</i>
2.3.2	<i>Dozrávání sněhu .....</i>	<i>15</i>
2.3.3	<i>Tání sněhu a odtok tavné vody.....</i>	<i>17</i>
2.4	POVODNĚ OVLIVNĚNÉ SNĚHOVOU POKRÝVKOU .....	19
2.5	PŘEDPOVĚDI ODTOKU ZE SNĚHOVÉ POKRÝVKY A JEHO MODELOVÁNÍ .....	20
2.5.1	<i>Základní přehled problematiky .....</i>	<i>20</i>
2.5.2	<i>Využití modelů odtoku ze sněhu v rámci předpovědní služby ČHMÚ .....</i>	<i>21</i>
2.6	MOŽNOSTI MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK SNĚHOVÉ POKRÝVKY .....	23
2.6.1	<i>Staniční měření .....</i>	<i>23</i>
2.6.2	<i>Mobilní terénní výzkum (tzv. expediční měření).....</i>	<i>26</i>
2.6.3	<i>Využití DPZ pro určování parametrů sněhové pokrývky .....</i>	<i>27</i>
2.7	MĚŘENÍ PARAMETRŮ SNĚHOVÉ POKRÝVKY V RÁMCI ČHMÚ.....	28
2.7.1	<i>Staniční síť .....</i>	<i>28</i>
2.7.2	<i>Experimentální povodí .....</i>	<i>29</i>
2.8	PROSTOROVÉ VYHODNOCENÍ BODOVÝCH MĚŘENÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY .....	30
<b>3</b>	<b>CHARAKTERISTIKA MODELOVÉHO POVODÍ ROKYTKY.....</b>	<b>31</b>

---

3.1	PODKLADOVÁ DATA .....	32
3.2	VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ .....	32
3.3	VÝŠKOVÉ A SKLONITOSTNÍ POMĚRY .....	33
3.4	GEOLOGICKÁ STAVBA, PŮDY A ZALESNĚNÍ .....	34
3.5	KLIMATICKÉ CHARAKTERISTIKY .....	34
3.5.1	<i>Teplotní charakteristika</i> .....	35
3.5.2	<i>Srážky</i> .....	35
3.5.3	<i>Vítr a oblačnost</i> .....	36
3.6	HYDROGRAFIE A ODTOKOVÝ REŽIM .....	37
3.6.1	<i>Hydrografie</i> .....	37
3.6.2	<i>Odtokový režim</i> .....	38
3.6.3	<i>Povodňové situace</i> .....	39
<b>4</b>	<b>VSTUPNÍ DATA .....</b>	<b>40</b>
4.1	DATOVÁ ŘADA PRŮTOKŮ Z HLADINOMĚRU .....	40
4.1.1	<i>Měřicí stanice</i> .....	40
4.1.2	<i>Zpracování dat</i> .....	41
4.2	MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK SNĚHOVÉ POKRÝVKY V TERÉNU .....	43
4.2.1	<i>Metodika měření</i> .....	43
4.2.2	<i>Rozsah a termíny měření</i> .....	45
4.2.3	<i>Chyby měření</i> .....	46
4.2.4	<i>Zpracování dat</i> .....	46
4.3	DATA Z METEOROLOGICKÝCH STANIC .....	47
4.3.1	<i>Data ze staniční sítě ČHMÚ</i> .....	47
4.3.2	<i>Data ze staniční sítě DWD</i> .....	48
<b>5</b>	<b>ANALÝZA AKUMULACE A TÁNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY .....</b>	<b>49</b>
5.1	ODHAD SRÁŽKOVÝCH ÚHRNŮ .....	49
5.1.1	<i>Porovnání návětrné a závětrné strany Šumavy</i> .....	49
5.1.2	<i>Postup odvození srážkových úhrnů pro povodí Rokytky</i> .....	51

---

5.2	CHOD TEPLOTY VZDUCHU VE SLEDOVANÝCH SEZONÁCH .....	55
5.3	POROVNÁNÍ ČASOVÉ VARIABILITY VÝSKYTU SNĚHOVÉ POKRÝVKY .....	57
5.4	VYHODNOCENÍ SNĚHOMĚRNÝCH KAMPANÍ V POVODÍ ROKYTKY .....	59
5.4.1	<i>Vyhodnocení měření v sezoně 2006/7 .....</i>	<i>59</i>
5.4.2	<i>Vyhodnocení měření v sezoně 2007/8 .....</i>	<i>62</i>
5.5	ANALÝZA ODTOKU .....	66
5.5.1	<i>Identifikace jarního tání.....</i>	<i>66</i>
5.5.2	<i>Porovnání charakteristik jarního tání v hydrologických letech 2007 a 2008 .....</i>	<i>68</i>
5.5.3	<i>Vyhodnocení množství zásob vody ve sněhové pokrývce.....</i>	<i>71</i>
5.5.4	<i>Porovnání období tání se staničním měřením.....</i>	<i>72</i>
<b>6</b>	<b>DISKUZE.....</b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>76</b>
	<b>POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>85</b>

---

# 1 ÚVOD

Sněhová pokrývka je důležitým přírodním jevem, jehož výskyt ovlivňuje nejen většinu složek fyzicko-geografické sféry, ale ve velké míře i lidskou činnost. Výskyt sněhové pokrývky je v České republice vázán téměř výhradně na chladnou polovinu roku a díky obecně nerovnoměrnému rozdělení atmosférických srážek na našem území je i variabilita prostorového rozložení a charakteristik sněhové pokrývky značná. To je navíc umocněno celou řadou dalších faktorů, které komplexně ovlivňují její výskyt a vlastnosti. V podmínkách našich horských poloh se většinou v zimním období vytváří souvislá sezonní sněhová pokrývka, která neroztává ani během zimních oblev (jak tomu bývá v nižších polohách), ale přetrvává až do nástupu jarního tání. Příkladem typického malého horského povodí v takovýchto podmínkách pak může být právě povodí Rokytky, které je jednou z pramenných oblastí šumavské řeky Vydry.

Z hydrologického hlediska představuje sněhová pokrývka především zásobárnu vody. Voda akumulovaná ve sněhové pokrývce je přitom výsledkem srážkové činnosti až několika měsíců. Většina této vody následně odtéká v nepoměrně kratší době během jarního tání, kdy zvýšený odtok může přerůst v povodňové stavy. Nebezpečné jsou zejména situace, kdy je tání sněhu způsobeno výrazným oteplením v kombinaci s dešťovými srážkami. Smíšené povodně přitom patří v České republice k nejčastějším a mohou mít rovněž větší územní rozsah než povodně z trvalých srážek (Brázdil *et al.*, 2005).

Pro zkoumání odtokových poměrů a pro případnou předpověď odtoku z tající sněhové pokrývky je přitom zcela klíčová znalost množství vody akumulované ve sněhové pokrývce před nástupem jarního tání. Určení tohoto množství není ovšem s ohledem na prostorovou variabilitu charakteristik sněhové pokrývky vůbec jednoduché. Údaje o sněhové pokrývce ze staničních měření se zejména v horském terénu mohou diametrálně lišit od skutečných podmínek, které panují v povodí i v nejbližším okolí stanice.

Z těchto důvodů byla provedena Katedrou fyzické geografie a geoekologie série sněhoměrných kampaní v zimních sezonách 2006/7 a 2007/8 v několika menších povodích v pramenné oblasti Otavy, které měly za úkol alespoň částečně odhalit a popsat skutečnou prostorovou variabilitu sněhové pokrývky a její charakteristiky.

Některé výsledky tohoto výzkumu přináší právě tato práce, která tak zapadá do rozsáhlejšího projektu hydrologických výzkumů, které v současnosti probíhají v pramenné oblasti Otavy, a zároveň navazuje na bakalářskou práci *Hydrografie a režim odtoku v povodí Roklanského potoka* (Jelínek, 2006). Povodí Rokytky je totiž jedním z dílčích povodí právě Roklanského potoka.



---

## 1.1 Cíle práce

Hlavním cílem práce je analyzovat výsledky sněhoměrných kampaní ze zimních sezon 2006/7 a 2007/8. Pokusit se určit prostorové rozložení sněhové pokrývky a jejích charakteristik v povodí Rokytky (povodí Rokytky je ovšem v této práci redukováno pouze na část vymezenou závěrovým profilem hladinoměru, viz dále) a následně odhadnout celkové množství vody akumulované ve sněhové pokrývce, které bylo v jednotlivých sezonách k dispozici pro jarní tání. Snahou bude dát podrobná měření v terénu do souvislosti se staničním měřením charakteristik sněhové pokrývky, které probíhá na české straně Šumavy v rámci staniční sítě ČHMÚ a na německé straně pak v síti provozované Deutscher Wetterdienst. Na základě měření automatického hladinoměru instalovaného na Rokytce v prostoru Rokyteckých slatí necelé 2 km před soutokem s Roklanským potokem bude následně úkolem identifikovat a analyzovat odtok způsobený jarním tání sněhu.

## 1.2 Struktura práce

První část práce má za úkol seznámit čtenáře se základní problematikou týkající se sněhové pokrývky zejména z pohledu hydrologie. Tato část je založena především na rešeršním zpracování příslušné světové i domácí odborné literatury. Následuje krátká kapitola věnovaná popisu vybraných aspektů modelového povodí Rokytky, které mají za úkol pomoci blíže lokalizovat a čtenáři přiblížit zájmové území. Čtvrtá kapitola je věnována popisu získání a zpracování podkladových dat, která jsou v následující aplikační části práce využita k analýze procesu akumulace a tání sněhové pokrývky v zájmovém povodí ve vybraném období. Následuje diskuze nad dosaženými výsledky. Ty jsou podrobeny kritickému pohledu zejména s ohledem na zvolené metody, které byly použity při sběru, zpracování a následné analýze podkladových dat. V závěru jsou ve stručnosti shrnuty hlavní výsledky práce zejména s ohledem na jejich další využití.

---

## 2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY HYDROLOGIE SNĚHU

Akumulace a tání sněhové pokrývky reprezentují významný prvek při zkoumání hydrologických procesů v krajině. Zároveň představují vysoce speciální a zároveň komplexní problematiku, která vyžaduje zvláštní přístup při výzkumu, a to do té míry, že část hydrologie věnovaná právě tomuto fenoménu je v rámci hydrologie vyčleňována jako samostatná disciplína. Hydrologie sněhu (v angl. snow hydrology) je tak v současné době běžně používaný pojem.

Historický přehled vědeckého zájmu o sníh a sněhovou pokrývku přináší např. publikace *Snow and glacier hydrology* (Singh, 2001). Zvýšený zájem o tuto problematiku lze podle Singha vysledovat do počátku 20. stol., i když dílčí studie věnované sněhu jsou i staršího data. Jako významné se pak jeví období zvýšené intenzity výzkumů ve 20. a 30. letech, které vyvrcholilo zakládáním zvláštních komisí věnovaných problematice sněhu a ledu (např. International Glaciological Society, založená roku 1936 a International Commission on Snow and Ice, 1936). Hlavní roli v této době hráli pochopitelně výzkumy v alpských zemích a vyzdvihoval je rovněž význam japonských výzkumů (Singh, 2001). Do doby těsně po Druhé světové válce jsou potom datovány první pokusy o modelování odtoku z tajícího sněhu. Za mezník v tomto výzkumu a v hydrologii sněhu všeobecně je přitom považováno publikování výsledků výzkumů ženijního vojska armády Spojených států (US Army Corps of Engineers) vydané v roce 1956.

V Česku a na Slovensku lze počátky disciplíny hydrologie sněhu položit podle Turčana (2005) do 60. let 20. stol. Mezi první práce zabývající se sněhovou pokrývkou jako takovou, jejím výskytem a charakteristikou, se přitom dají podle Šamaje (1991) zařadit výzkumy profesora Františka Augustina z počátku minulého století.

### 2.1 Význam sněhu a sněhové pokrývky

Sníh a sněhová pokrývka má enormní vliv na celou fyzicko-geografickou sféru i na člověka. Z klimatologického hlediska představuje sněhová pokrývka zvláštní typ aktivního povrchu, který se svým chováním značně odlišuje od stavu bez sněhové pokrývky. Výrazně ovlivňuje zejména energetické toky. Vysoké albedo spolu s nízkou tepelnou vodivostí sněhu omezuje výměnu tepla mezi podložím a atmosférou. Sníh tak působí jako izolant, který může zabránit zamrznutí půdy v případě, že se sněhová pokrývka vytvořila již na začátku zimního období a sníh dopadal na nepromrzlou půdu, nebo může naopak bránit rozmrznutí půdy v případě, kdy sníh pokryl již zamrzlou půdu až po delším období mrazu. Výskyt sněhu stejně tak ovlivňuje

---

teplotní poměry v okolí. Vysoká vrstva sněhové pokrývky, která se na našich horách většinou vytváří, zřetelně zpožďuje nástup jarních teplot, na což v podmínkách Šumavy upozorňuje např. Chábera (1987).

Sněhová pokrývky rovněž snižuje celkovou drsnost povrchu a ovlivňuje větrné poměry. Výskyt, množství a charakter sněhové pokrývky je tak z klimatologického hlediska vysoce komplexní ukazatel, který umožňuje vytvořit si představu nejen o srážkových a teplotních poměrech území (Hošek, 1997).

Ve srážko-odtokovém procesu představuje sníh specifický druh srážek, který se nezapojuje okamžitě do odtokového procesu, ale až s určitým zpožděním při jeho tání. Toto zpoždění je přitom velice rozmanité. Sníh může tát ihned po dopadu na povrch, ale stejně tak může přetrvávat v povodí řadu měsíců. Nepoměrně delší časové období mezi uložením a roztáním vody uložené ve formě sněhu pak představuje proces tvorby a tání ledovců. Tato problematika však již přesahuje rámec této práce, neboť není v současném klimatu území Česka aktuální. Stejně tak lze pominout výskyt sněžníků. K tvorbě tzv. sezonních sněžníků sice v našich podmínkách dochází (Demek, 1976), ale z pohledu hydrologie nepředstavují významný zdroj vodnosti, který by bylo nutné ve srážko-odtokových bilancích zahrnovat.

Sněhová pokrývky navíc značně ovlivňuje i tvorbu odtoku ze srážek spadlých ve formě deště. Zatímco při nízké výšce sněhové pokrývky mohou dešťové srážky způsobit její úplné roztání, a zvýraznit tak odtokovou odezvu, naopak vysoká vrstva působí jako houba s výrazným retenčním potenciálem, který má na odtokovou odezvu brzdicí a tlumivý efekt (Hladný, 2006). Srážkový úhrn tak v závislosti na jeho množství a podmínkách, které panují ve sněhové vrstvě, může být touto vrstvou zcela pohlcen, srážková voda zvýší vodní hodnotu sněhu, ale odtoková odezva v korytech toků je zanedbatelná či jí vůbec nelze pozorovat.

Voda uvolněná roztáním sněhové pokrývky nadlepšuje stavy podzemní i povrchové vody. Přináší aditivní vláhu na začátku vegetačního období, a je tak přínosem jak pro rostliny ve volné přírodě, tak pro zemědělství.

Již zmiňované izolační vlastnosti sněhu mají převážně kladný vliv na rostlinný kryt. Nadměrné množství sněhu naopak může způsobovat polomy. Výskyt sněhové pokrývky rovněž ovlivňuje chování živočichů. Na existenci některých opět působí kladně jako izolant, jiným ztěžuje či zcela znemožňuje hledání potravy a omezuje pohyb.

Pro člověka představuje sníh na jedné straně základní faktor zimní rekreace, na druhé straně však jeho větší množství působí problémy v dopravě, zatěžuje stavební konstrukce, a ohrožuje tak statiku budov (Tolasz *et al.*, 2007). Pravidelně se vyskytují problémy s přerušením vodičů elektrického napětí zejména v lesních prostorách, kde je způsobují polomy zapříčiněné právě velkým množstvím napadlého sněhu. V neposlední řadě je ohrožován majetek a zdraví obyvatel při povodňových situacích, v které může přerůst intenzivní tání sněhové pokrývky.

## 2.2 Základní pojmy charakterizující sněhovou pokrývkou

Vysvětlení základní terminologie je sestaveno na základě publikace Meteorologický slovník výkladový a terminologický (Sobíšek *et al.*, 1993).

**Sníh** je chápán jako hydrometeor pevného skupenství vypadávající jako atmosférická srážka z oblaků, který se skládá většinou z rozvětvených ledových krystalků. Vypadávání sněhu se přitom označuje termínem **sněžení**. **Intenzita sněžení** se hodnotí podle dohlednosti, podle přírůstku výšky nového sněhu či radarovým měřením. V mezinárodním meteorologickém kódování se rozlišuje na slabé, mírné a silné. Další možné dělení intenzity je uvedeno v tab. 1. Sněžení je možné rovněž dělit na občasné a trvalé.

Tab. 1: Rozdělení srážek podle intenzity

Intenzita	Děšť [mm.h <sup>-1</sup> ]	Sníh [cm.h <sup>-1</sup> ]
velmi slabá	neměřitelné množství	Jednotlivé vločky, které nepokrývají celý povrch bez ohledu na dobu trvání
slabá	0,1–2,5	0–0,5 – neovlivňuje dohlednost
mírná	2,6–2,8	0,6–4,0 – dohlednost je mírně zhoršená
silná	8,0–40,0	> 4,0 – dohlednost zhoršená na 500 m
velmi silná	> 40	Krátkodobé intenzivní přeháňky, dohlednost zhoršená pod 500 m

Zdroj: Vašíček (2006) in Kubiček (2006)

Vrstva sněhu na zemském povrchu nese označení **sněhová pokrývka** v případě, že výška sněhu je minimálně 0,5 cm (v meteorologické a klimatologické praxi se výška sněhu zaokrouhluje na celé cm), je-li nižší, jedná se o **sněhový poprašek**. Při pozorování na stanicích se dále rozlišuje sněhová pokrývka **souvislá** v případě, kdy pokrývá alespoň z poloviny plochu v okolí stanice. V opačném případě se označuje za **nesouvislou**.

K základním charakteristikám sněhové pokrývky měřeným na stanicích patří:

- **Výška sněhové pokrývky** – v obecném smyslu vertikální vzdálenost mezi povrchem sněhové pokrývky a povrchem půdy, popř. povrchem sněhoměrného prkénka.
- **Výška nového sněhu** – výška nově napadlého sněhu odečítaná v pozorovacím termínu v 7 hodin ráno (místního času), stejně jako denní úhrn srážek.
- **Celková výška sněhové pokrývky** – součet výšky starého a nového sněhu naměřený v pozorovacím termínu v 7 hodin ráno (místního času).
- **Vodní hodnota sněhu (popř. sněhové pokrývky)** – výška vodního sloupce, který vznikne rozpuštěním sněhu na příslušné ploše udávaná většinou v mm (dále bude v textu využívána zkratka SVH, popř. zkrácený termín „vodní hodnota“).
- **Hustota sněhu** – hmotnost objemové jednotky sněhové pokrývky (nejčastěji v kg.m<sup>-3</sup>). Tuto hodnotu lze jednoduše se znalostí výšky sněhu převést na SVH.

Vodní hodnotu sněhu lze vyjádřit i jako podíl objemu vody roztáté z odpovídajícího objemu sněhu, popř. jako podíl výšky vodního sloupce vody roztáté z příslušné výšky sněhu. Získaná hodnota se uvádí jako bezrozměrné číslo či v procentech. V dalším textu bude tato charakteristika nazývána jako **relativní vodní hodnota** (sněhu či sněhové pokrývky).

## 2.3 Vývojové fáze sněhové pokrývky

Pro potřeby hydrologických bilancí a hydrologického modelování lze v průběhu jedné sezony identifikovat tři hlavní období existence sněhové pokrývky (Hrušková, 2006).

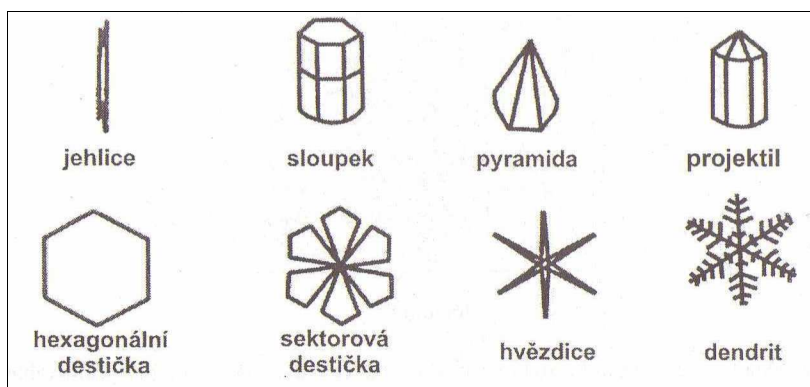
- akumulace sněhové pokrývky
- dozrávání sněhu
- tání sněhu a odtok tavné vody

Je pochopitelné, že jednotlivá období nelze vymezovat striktně. Sněžení a tedy i akumulace nového sněhu se pochopitelně může vyskytovat kdykoliv stejně jako tání. Tyto procesy jsou pouze charakteristickým jevem pro jednotlivá období vývoje sněhové pokrývky. Základní přehled těchto procesů přináší následující podkapitoly.

### 2.3.1 Akumulace sněhové pokrývky

Formování sněhové pokrývky začíná vypadáváním srážek v pevném skupenství ve formě sněhu (ostatní formy pevných srážek je z hydrologického hlediska možno zanedbat), které vypadávají při teplotě kolem 0 °C nebo častěji teplotách nižších. Na vznik sněžení je možné aplikovat teorii vzniku srážek ve smíšených oblacích, kdy nad kondenzační hladinou a hladinou nulové izotermie dochází při splnění určitých podmínek k nárůstu ledových částic na úkor částic přechlazené vody (Bednář, 2003). Ledové částice rostou i difuzí vodní páry. Krystalky přitom svým tvarem odpovídají šesterečné krystalografické soustavě. Jejich základní tvary je možné sledovat na obr. 1. Vznik jednotlivých tvarů přitom závisí zejména na teplotě a vlhkosti vzduchu. Častý je vznik ledových hvězdic – dendritů, které se hovorově označují jako sněhové vločky. Při pádu ledových krystalků dochází k jejich agregaci a vytváří nepravidelné shluky. Tento proces je nejvýraznější při teplotách blízkých 0 °C se sekundárním maximem při teplotách kolem -15 °C. Největší velikosti dosahují sněhové vločky rovněž při teplotách blízkých 0 °C. Charakteristická velikost dosahuje až 15 mm (ojediněle i více), nejčastěji se však pohybuje v rozmezí 2 až 5 mm. Pádová rychlost je udávána v rozmezí 0,3 až 0,6 m.s<sup>-1</sup> (Řezáčová, 2007).

Obr. 1: Schematické znázornění základních tvarů ledových krystalů



Zdroj: podle Curry a Webster (1999) in Řezáčová (2007)

Množství srážek vypadlých ve formě sněhu je stejně jako u srážek dešťových primárně řízeno atmosférickou cirkulací a tvarem reliéfu (orografií). Navíc je ovšem pro tvorbu sněhové pokrývky nutné splnění podmínky teploty povrchu nižší než 0 °C, aby nedošlo k jejímu okamžitému tání. Nadmořská výška je tedy klíčovým faktorem, který ovlivňuje výšku sněhové pokrývky, neboť se vzrůstající nadmořskou výškou obecně přibývá srážek a zároveň klesá teplota vzduchu. *Tolasz et al. (2005)* uvádí pro podmínky našich pohraničních hor typický gradient růstu maxim výšky sněhové pokrývky přibližně 15 cm na 100 m.

Reliéf ovlivňuje akumulaci sněhové pokrývky řadou způsobů. V horských podmínkách dochází obecně k orografickému zvýšení srážek. Velkou roli hraje návětrný a závětrný efekt, který se výrazně uplatňuje právě v oblasti Šumavy. Převažující západní a jihozápadní proudění přináší více srážek na německé západní straně a ve vrcholových partiích. Česká východní strana pak má charakter strany závětrné (*Lejsková, 2000*).

Často zvýšená rychlost větru doprovázející sněžení má rovněž vliv na prostorovou variabilitu distribuce sněhu. Lokální překážky v proudění umožňují výraznější ukládání sněhu na závětrné straně. Na návětrné straně je sníh větrem naopak unášen. K intenzivnímu odnosu větrem dochází i na exponovaných vrcholcích. Větší množství sněhu tak mohou mít chráněné údolní polohy ve srovnatelné nadmořské výšce (*Tolasz, 2007*).

Větrné proudění je rovněž značně ovlivňováno vegetací, zejména lesním porostem. Koruny stromů způsobují turbulentní proudění, které ovlivňuje variabilitu v ukládání sněhu na úrovni menšího měřítka zkoumání (pravá část obr. 2). Sníh zachycený v korunách stromů (intercepce) může sice propadnout až na zem, ale je daleko náchylnější k sublimaci popř. k tání, než sníh uložený v souvislé sněhové pokrývce (levá část obr. 2). U lesních porostů je tak při posuzování jejich vlivu na akumulaci sněhu nutné zohlednit zejména jejich druh (v zimě nejčastěji opadané listnaté × jehličnaté), výšku stromů a hustotu porostu. *Hrušková (2006)* uvádí, že podle různých studií je v lese v období maximální akumulace sněhu o třetinu až polovinu méně sněhu než na otevřených plochách.

**Obr. 2: Vliv vegetace na akumulaci sněhové pokrývky**



*Zdroj: Cline (1999)*

Redistribuce čerstvě napadnutého sněhu větrem je dalším faktorem, který zvyšuje prostorovou variabilitu akumulace sněhových srážek, přičemž míra tohoto transportu se jen velmi obtížně kvantifikuje. V současné době si ale řada autorů vysvětluje prostorovou heterogenitu v ukládání sněhu právě tímto fenoménem, na což upozorňuje např. *Hrušková*

---

(2006). Rozmanitost v dávkách slunečního záření a teploty vzduchu se totiž nezdá být dostatečná k vysvětlení variability v rozložení sněhové pokrývky.

Je patrné, že všechny faktory, které ovlivňují akumulaci sněhu a vytváření sněhové pokrývky je nutné vnímat jako faktory, které působí komplexně. Zároveň je tím ale snížena možnost kvantifikovat míru významnosti jednotlivých procesů, které v konkrétním případě ukládání sněhu na zemském povrchu ovlivňují.

### 2.3.2 Dozrávání sněhu

Ihned po dopadu na povrch terénu začíná postupná přeměna (metamorfóza) sněhu. Hovoří se také o dozrávání či zpevňování, tzv. diagenezi (*Demek, 1976*). Během trvání sněhové pokrývky působí na tuto vrstvu řada energetických toků, které tyto změny způsobují a mění fyzikální vlastnosti sněhové pokrývky. Jelikož není působení energetických toků v prostoru rovnoměrné, dochází k dalšímu zvyšování heterogenity i v prostorovém rozložení charakteristik sněhové pokrývky (tedy pochopitelně i pro hydrologii klíčové vodní hodnoty sněhu). Na diagenezi sněhu se dále rovněž podílí působení větru a gravitační síly Země.

Energetické toky, které působí na sněhovou pokrývku jsou následující (zpracováno na základě *Singh, 2001, Cline, 1999, Bedient, Wayne, 1989 a Gupta, 2001*):

- absorbované přímé i nepřímé sluneční záření
- dlouhovlnné terestrické záření a záření atmosféry
- latentní teplo dodávané či uvolňované při změnách skupenství vody ve sněhové pokrývce
- energie dodaná srážkami dopadajícími na sněhovou pokrývku
- konvekce tepla ze vzduchu
- kondukční přenos tepla z půdy

Na lokální úrovni lze největší heterogenitu v dávkách přijímané energie zaznamenat u energie z přímého slunečního záření. Množství této energie, které dopadá na konkrétní místo sněhové pokrývky je značně ovlivněno fyzicko-geografickými podmínkami. Hlavní roli přitom hraje orientace a sklonitost svahů a míra zastínění vegetací. Celkově menší množství sněhu akumulovaného v lesních porostech tak postupem doby díky zastínění přetrvává v povodí déle než sníh na otevřených plochách, který odtává rychleji.

Čerstvě napadený sníh má hustotu  $0,01\text{--}0,05\text{ g.cm}^{-3}$ . Postupem doby a působením výše zmiňovaných činitelů dochází ke spojování sněhových krystalů a změně jejich tvaru na kulový (čímž dochází k vytěsňování vzduchu, a tedy vzrůstu hustoty). Existuje řada dělení typu sněhu podle hustoty, které se v pojmenování či rozsahu hodnot mohou lišit, ale tyto rozdíly nebývají výrazné. Jedno z možných dělení typů sněhu, tak jak postupně dochází k jeho proměně, přináší tab. 2. Je dobré si uvědomit, že vzhledem k měrné hustotě vody, která představuje dominantní složku hmotnosti sněhu, lze v tabulce ztotožnit údaj o hustotě sněhu s jeho relativní vodní hodnotou.

**Tab. 2: Typické hustoty sněhu v různých stádiích vývoje**

Typ sněhu	Hustota [g.cm <sup>-3</sup> ]
Nový sníh (za nízkých teplot)	0,01–0,03
Nový sníh	0,05–0,07
Nový vlhký sníh	0,10–0,10
Sesedlý sníh	0,20–0,30
Větrem zhuštěný starý sníh	0,35–0,40
Firn	0,40–0,65
Velmi mokřý sníh a firn	0,70–0,80
Ledovcový led	0,80–0,91

*Zdroj: Singh (2001)*

Tak jak se během doby mění hustota sněhu, mění se i další fyzikální parametry. Snižuje se albedo, zvyšuje se tvrdost (*Singh*, 2001). Sníh je stále ovlivňován působením větru. Ten kromě další redistribuce sněhu v prostoru způsobuje zvýšení úbytku sněhu sublimací. V závislosti na meteorologických podmínkách mohou tyto ztráty (sublimací pouze ze sněhu ve vzhledu) dosahovat až prvních desítek mm vodní hodnoty sněhu za rok (*Cline*, 1999).

V případě, že teplota vzduchu vzroste nad 0 °C, je celý proces diagenese sněhu ovlivněn výskytem tavné vody, stejně jako při vypadávání dešťových srážek na sněhovou pokrývku. Opětovné zamrzání vody spolu s dalšími vlivy má za následek tvorbu charakteristických vrstev ve sněhové pokrývce, které se navzájem liší některými fyzikálními vlastnostmi, a lze díky nim odlišit případný výskyt krátkodobých oblev během zimního období. Metamorfózu sněhu tak obecně můžeme dělit na suchou, bez přítomnosti kapalně vody, a vlhkou, přítomnost vody v kapalném skupenství (*Cline*, 1999). V závislosti na typu metamorfózy, chodu teplot a dalších fyzikálních parametrech pak přeměnou vzniká sníh rozdílných zrnitostních kategorií. Zrnitost sněhu přitom do značné míry determinuje vlastnosti sněhové pokrývky (*Singh*, 2001).

Značně problematická je kvantifikace výparu obecně a u výparu (sublimaci) ze sněhu je její určení ještě obtížnější. Představu o konkrétních hodnotách množství výparu za různých teplotních podmínek přináší tab. 3. Kromě rozdílu napětí par a teplotě je množství výparu závislé sluneční radiaci, působení větru a fyzikálních parametrech sněhové pokrývky, zejména hustotě a tepelné vodivosti (*Kemel*, 2000).

Teplotní profil vrstvou sněhové pokrývky pak dokumentuje např. *Cline* (1999). Při její dostatečné tloušťce je svrchní část nejvíce ovlivňována teplotou vzduchu a s ohledem na denní chod teplot může vykazovat odpovídající kolísání, jehož amplituda se směrem k půdnímu podloží zmenšuje. Díky izolačním vlastnostem sněhu si pak udržuje téměř konstantní teplotu blízkou 0 °C.

**Tab. 3: Měsíční výpar ze sněhové pokrývky**

Teplota vzduchu [°C]	0	-1	-2	-3	-4	-5	-7	-10	-15	-20
Výpar [mm/měsíc]	30	27	24	22	20	17	12	7	4	3

*Zdroj: podle Poljakova in Dub (1963)*



### 2.3.3 Tání sněhu a odtok tavné vody

Tání sněhu představuje fázovou přeměnu ledu na kapalnou vodu. To je možné při dodání dalšího tepla, vrostla-li před tím teplota sněhu na 0 °C. Energetické toky, které mohou toto teplo do sněhové pokrývky dodat, byly popsány v předchozí kapitole. Energie dostupná pro tání tak lze zapsat rovnicí ve tvaru (podle *Bedient, Wayne*, 1989):

$$Q_m = Q_n + Q_g + Q_c + Q_e + Q_p$$

- $Q_m$  je energie (teplo) dostupná pro tání sněhu.
- $Q_n$  představuje výslednou energii radiační bilance.
- $Q_g$  představuje přenos tepla z půdního podloží.
- $Q_c$  je teplo dodané z přilehlé vrstvy vzduchu.
- $Q_e$  je latentní teplo.
- $Q_p$  je teplo dodané srážkami.

V případě, že  $Q_m$  je kladné, je tato energie využita ke zvýšení teploty sněhu až na 0 °C a posléze k tání. Pokud je hodnota  $Q_m$  záporná, dochází k mrznutí kapalné vody a posléze ke snižování teploty sněhové vrstvy.

Při dodání dostatečného tepla a vzniku tání se ve sněhu objevuje kapalná voda. Tato voda se nejdříve tvoří ve formě vodního filmu, který obaluje jednotlivá sněhová (ledová) zrna. Pokud její množství nepřesáhne jedno procento objemového podílu ve sněhu, nedochází ještě díky kapilárním silám k uvolňování této vody ze sněhové pokrývky (*Cline*, 1999). Při dalším navyšování podílu volné vody dochází díky gravitaci k jejímu pohybu do nižších vrstev. Kapalnou vodu ve sněhové pokrývce tak lze obdobně jako u vody podpovrchové dělit na hygroskopickou, kapilární a gravitační (*Singh*, 2001). V případě, kdy jsou saturovány vzduchové póry ve sněhu, může dojít i k laminárnímu proudění gravitační vody (*Cline*, 1999). Stejný autor rovněž uvádí charakteristické rychlosti proudění kapalné vody ve sněhové pokrývce jako 2–60 cm.min<sup>-1</sup>. Podle podílu objemu kapalné vody lze použít označení typu sněhu, jak uvádí tab. 4.

**Tab. 4: Dělení sněhu podle podílu objemu kapalné vody**

Typ sněhu	Charakteristické znaky	Podíl vody
Suchý	$T < 0\text{ °C}$ , sníh nemá tendenci se lepit	0 %
Vlhký	$T = 0\text{ °C}$ , sníh se lepí, volná voda ale není vidět ani při 10 zvětšení	3 %
Mokrý	$T = 0\text{ °C}$ , volná voda viditelná při 10násobném zvětšení, ale nelze ji vytlačit mírným zmáčknutím sněhu v ruce	3–8 %
Velmi mokrý	$T = 0\text{ °C}$ , vodu lze vytlačit mírným zmáčknutím, stále ale zůstávají volné vzduchové prostory	8–15 %
Rozbředlý	$T = 0\text{ °C}$ , je dosaženo nasycení sněhu kapalnou (volnou) vodou a obsahuje pouze malé množství vzduchu	> 15 %

**Pozn:  $T$  je teplota sněhu**

*Zdroj: Singh (2001)*

Proudění vody ve sněhové pokrývce může být ovlivněno existencí zledovatělých vrstev, které se vytvořily při krátkodobých oblevách či působením větru. Voda po nich proudí

---

i v horizontálním směru, a je tak narušena trajektorie pohybu přímo ve směru působení gravitace.

Maximální obsah kapalné vody, který je vrstva sněhu schopná udržet, se nazývá retenční kapacita (*Singh*, 2001). Je-li toto množství překročeno, dochází k odtoku ze sněhové pokrývky. Retenční kapacita sněhu závisí na mnoha faktorech, jako je např. hustota sněhu, výška sněhové pokrývky, velikost a tvar krystalů sněhu a množství vzdušných pórů. Jelikož se navíc tyto vlastnosti sněhu v jednotlivých vrstvách pokrývky liší, představuje určení retenční kapacity sněhové pokrývky zásadní problém, který doposud není jednoznačně vyřešen (*Singh*, 2001). Výzkumy amerického ženijního vojska např. uvádějí, že pro praktické aplikace je možné retenční kapacitu sněhové pokrývky odhadnout jako 2–5 % její vodní hodnoty (*USACE*, 1998).

Odtok ze sněhu je z výše uvedených důvodů opožděn o určitý časový úsek od začátku tání stejně jako odtoková odezva na dešťovou srážku, která dopadne na sněhovou pokrývky. K odtoku také nemusí dojít vůbec v případě, že tavná voda nedosáhne povrchu půdy a znovu zamrzne (např. v noci díky ochlazení v závislosti na denním chodu teplot). Na horách tak může být při větších výškách sněhové pokrývky odtok ze sněhu značně opožděn za nástupem vyšších teplot vzduchu, které tání sněhu vyvolávají. Způsob odtoku je navíc ovlivněn stavem půdního podloží.

V závislosti na stavu půdního podloží může nastat několik situací. V případě, že půda není zamrzlá a míra tání nepřekračuje infiltrační kapacitu půdy, je odtoková odezva podobná jako při běžné srážkové události (*Cline*, 1999). Dochází k saturaci půdního profilu vodou, která se z části projevuje v odtokové odezvě jako hypodermický odtok a zároveň doplňuje zásoby podzemní vody a se zpožděním odtéká formou bazálního odtoku. V horských terénech, kde se obvykle tvoří vysoká vrstva sněhové pokrývky, nastává obvykle tato situace, protože vysoká vrstva sněhu působí jako izolant zabraňující promrzání. I v případě, že se sníh začal akumulovat na již zmrzlou půdu, není zámrz většinou hluboký, popř. zcela zaniká díky příjmu energie z hlubších vrstev (*USACE*, 1998). Je-li ovšem překročena infiltrační kapacita půdy (nebo je půda zamrzlá), dochází k hromadění tavné vody u báze sněhové pokrývky a jejímu „zvodnění“ (*Cline*, 1999).

Pohyb této vody směrem ke korytu toku je závislý na mnoha faktorech charakteru sněhové pokrývky a sklonu svahu. *Singh* (2001) uvádí, že v případě, kdy je sněhem pokryto celé povodí, nelze hovořit o výskytu povrchového odtoku a považuje jej za nulový. Uvádí, že většina odtoku ze sněhové pokrývky tak probíhá formou hypodermického odtoku (interflow). Publikace ženijního sboru americké armády (*USACE*, 1998) ovšem v případě výskytu laterálního odtoku „zvodnělou“ vrstvou báze sněhové pokrývky o povrchovém odtoku hovoří. *Cline* (1999) tento odtok označuje za „subnivální“ a uvádí že, jeho rychlost je obecně nižší než u běžného povrchového odtoku.

Vzniku odtokové odezvy v korytě na tání sněhové pokrývky předchází řada procesů, které byly ve stručnosti popsány v předcházející pasáži. Je nutné si uvědomit, že celá problematika je značně složitá a řada otázek ohledně tvorby odtoku ze sněhu není zcela jednoznačně

zodpovězena (Singh, 2001). Tání sněhu je tedy z hydrologického hlediska mnohem složitější a komplexnější jev než situace, kdy na povodí dopadají pouze dešťové srážky.

## 2.4 Povodně ovlivněné sněhovou pokrývkou

Z genetického hlediska můžeme ve vnitrozemských oblastech vymezit povodně podle zdroje zvýšeného odtoku na povodně dešťové, sněhové, smíšené, ledové a dále na specifické druhy povodní bez přímé vazby na meteorologickou situaci (Brázdil *et al.*, 2005).

Povodně ledové a specifické druhy povodní lze s ohledem na probíranou problematiku zanedbat, i když je pochopitelné, že náhlé tání sněhové pokrývky může být rovněž doprovázeno chodem ledových ker, které by ovlivnily především vzestupnou část povodňových vln (Vlasák, 2008). Obdobně lze uvažovat o lokálním zhoršení povodňové situace v případě snížení průtočnosti koryta padlým stromem či např. sesuvem půdy. Někdy tak může být složité určit hlavní příčinu povodně, tedy zda je převážně vyvolána zvýšeným odtokem či snížením průtočnosti koryta.

Zařazení povodně do kategorie dešťové, sněhové a smíšené lze provést na základě zjištění podílu tání sněhu na vzniku povodně (Vlasák, 2008). Stejný autor uvádí, že toto určení nemusí být vždy jednoznačné, protože mnohdy nelze určit z jakých zdrojů byly jednotlivé složky odtoku plněny (zejména u základního odtoku). Zároveň průběh čistě dešťové povodně může být v jarních měsících ovlivněn značným nasycením půdy v povodí po odtání sněhové pokrývky. Možné dělení povodní podle podílu tání sněhu na vodnosti je uvedeno v tab. 5.

Tab. 5: Typy povodní podle příčin

Typ povodně	Podíl tání sněhu [%]
Sněhové povodně	$\geq 80$
Smíšené povodně s převahou vlivu tání sněhu	$50 \leq < 80$
Smíšené povodně s převahou vlivu dešťových srážek	$20 \leq < 50$
Dešťové povodně	$< 20$

Zdroj: Vlasák (2008)

Povodně sněhové a smíšené jsou také často označovány jako povodně zimního a jarního typu (Hladný, 2006). Přičemž povodně způsobené čistě táním sněhu po náhlém oteplení nedosahují na území České republiky zpravidla větších N-letostí (Brázdi *et al.*, 2005). Daleko častější a nebezpečnější je výskyt povodní smíšených.

U vzniku povodní spojených s táním sněhu lze v zásadě vyčlenit faktory předběžné a faktory příčinné (Kakos *et al.*, 2006). Předběžný faktor představuje vytvoření dostatečné sněhové pokrývky během zimního období, a to zejména v nižších a středních polohách. Vysoká sněhová pokrývka v horských oblastech je obecně méně citlivá na náhlá oteplení (vertikální členitost způsobuje postupný nárůst teplot v jednotlivých výškových pásmech, a zasahuje proto najednou menší území). Vysoká sněhová pokrývka má navíc schopnost působit jako houba na případný výskyt dešťových srážek (Hladný, 2006), a vysoká retenční kapacita tak tlumí

---

odtokovou odezvu na tyto srážky. Ve středních a nižších polohách je naopak oteplením většinou postiženo daleko rozsáhlejší území a obecně nižší výška sněhové pokrývky odtává rychleji, zejména je-li tání doprovázeno vypadáváním kapalných srážek (*Kakos et al*, 2006).

Příčinnými faktory sněhových a smíšených povodní je pak náhlé oteplení vyvolávající tání sněhové pokrývky. To může být navíc značně umocněno působením větru. U povodní smíšených navíc do celého procesu vstupuje vypadávání dešťových srážek. Ty jednak zvyšují celkové množství vody pro tvorbu odtoku a navíc výrazně urychlují tání samotné sněhové pokrývky.

Z předpovědního hlediska je mnohem jednodušší odhadnout míru oteplení a prostorové rozložení teploty vzduchu než množství a prostorové rozložení srážek.

## **2.5 Předpovědi odtoku ze sněhové pokrývky a jeho modelování**

### **2.5.1 Základní přehled problematiky**

Modelování hydrologických procesů nachází uplatnění jak v operativní praxi vodního hospodářství, tak ve výzkumu přírodního prostředí obecně. Jeho rozvoj je spojen zejména s rozvojem výpočetní techniky. Modelování procesů týkajících se sněhové pokrývky (zejména její akumulace a tání) se děje především pomocí matematických modelů, které s různou mírou zjednodušení zastupují reálné prostředí. Vstupní data jsou matematickými operacemi transformována na výsledek modelování – data výstupní. Odvození matematických vztahů přitom může probíhat různým způsobem. Na jedné straně čistě empirické modely pracující na principu „black box“, které dávají do souvislosti pouze vstupy a výstupy ve sledovaném systému, a na druhé straně modely řešící fyzikální podstatu modelovaných jevů (*Hrušková*, 2006). Mezi těmito dvěma způsoby přitom existuje celá řada přechodových forem tzv. koncepčních modelů.

Modelování akumulace a tání sněhové pokrývky nachází v praxi využití zejména pro hydrologické předpovědi, které jsou důležité pro včasnou výstrahu před výskytem vysokých průtoků, z dlouhodobějšího hlediska pak obecně pro plánování hospodaření s vodou (manipulace s přehradními nádržemi, předpovědi pro zemědělství atp.) a zkoumání hydrologické bilance.

Proces akumulace a tání sněhové pokrývky představuje nesmírně složitý děj, na který má vliv celá řada faktorů, tak jak bylo naznačeno v předchozích kapitolách. Čistě fyzikálně korektní přístup by musel v sobě zahrnovat detailní bilanci energetických toků na rozhraní půda – sníh – atmosféra a celou řadu fyzikálních parametrů charakterizujících sněhovou pokrývkou. Reálně je ale dostupné množství dat mnohem menší, zejména pro potřeby výpočtů v operativní hydrologii prováděných v reálném čase.

Nejjednodušší modely představují tzv. metody indexů. Nejčastěji se jedná o využití údaje o teplotě vzduchu, který je schopen nejlépe nahradit složku energetické bilance (*Singh*, 2001). U tzv. metody teplotního indexu (jinak také označované jako „degrese-day“ metoda) je odtok ze

---

sněhu funkcí teploty a je vyjádřen odtokovou výškou (např. *Gupta*, 2001). Empiricky je stanoven teplotní faktor a kritická teplota. Výpočet poté probíhá podle vzorce:

$$M = a \cdot (T - T_C)$$

- **M** je odtok ze sněhu v mm za den.
- **a** je teplotní faktor v mm. °C<sup>-1</sup>.den<sup>-1</sup>.
- **T** je průměrná denní teplota vzduchu ve °C.
- **T<sub>C</sub>** je kritická teplota jejíž překročení je chápáno jako impuls k tání sněhu.

Teplotní faktor se pohybuje řádově v jednotkách mm.°C<sup>-1</sup>.den<sup>-1</sup> a kritická teplota bývá většinou stanovena na 0 °C. Největší výhodou této metody je malý počet vstupních údajů. Teplotní faktor je většinou sice nutné stanovit pro každé povodí zvlášť a měnit jej i s ohledem na aktuální podmínky (*USACE*, 1998), ale jinak je jediným vstupním údajem průměrná teplota vzduchu, jejíž hodnota je dostupná ze staničních měření a zároveň představuje veličinu velice dobře interpolovatelnou vzhledem k její vysoké korelaci s nadmořskou výškou. Nevýhodou metody teplotního indexu je pochopitelně naprosté ignorování všech ostatních faktorů, které nemůže teplota vzduchu postihnout. Velmi problematické je zejména využití tohoto přístupu v situacích, kdy na sněhovou pokrývku vypadávají dešťové srážky.

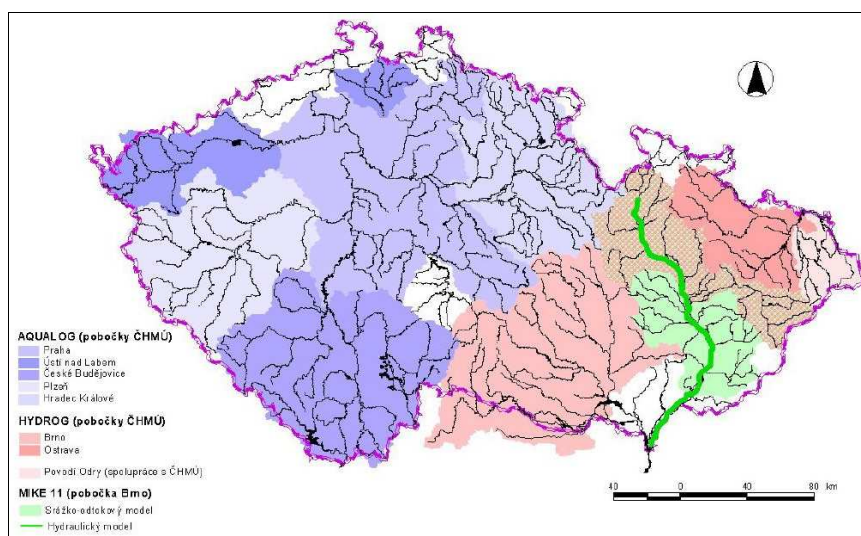
Sofistikovanější přístup tak přinášejí tzv. „energy budget“ modely, které s různou mírou zjednodušení zahrnují výpočet energetické bilance procesu tání (*Němečková*, 2007). V závislosti na jejich dostupnosti jsou využívány např. hodnoty albeda, radiace, tlaku nasycení vodních par apod. V praxi jsou pak modely odtoku ze sněhu často koncipovány jako „hybridní“ a využívají jak indexové metody, tak „energy budget“ přístup (*Hrušková*, 2006).

Určení odtoku z tání sněhu je hlavním úkolem hydrologických modelů sněhové pokrývky. Vstupní údaje o jejich vlastnostech (zejména vodní hodnotě) a prostorovém rozšíření mohou být dodávány zvlášť (údaje ze staničních, terénních či distančních měření) nebo mohou být předmětem samostatného modelování. Modelování akumulace sněhové pokrývky by přitom měla zahrnovat dva hlavní aspekty a to: primárně identifikaci srážek vypadlých ve formě sněhu a ovlivnění větrem, při ukládání a rovněž následné redistribuci (*Singh*, 2001).

### **2.5.2 Využití modelů odtoku ze sněhu v rámci předpovědní služby ČHMÚ**

V České republice se můžeme setkat s dvěma základními hydrologickými modely používanými v operativní praxi ČHMÚ. Pro povolí Labe je českými pobočkami využíván hydrologický model AquaLog, moravské pobočky pak využívají model Hydrog. Pro vybraná moravská povodí je rovněž nakalibrován a testován model Mike-11 (obr. 3). Všechny zmiňované modely některou svou komponentou pochopitelně řeší i modelaci odtoku z tání sněhové pokrývky. Data do modelů AquaLog i Hydrog jsou implementována pomocí databázového systému AquaBase, který umožňuje správu dat pořízených z různých zdrojů jak z meteorologické a klimatologické staniční sítě, tak ze sítě vodočetných stanic. Rovněž pro zmiňované hydrologické modely umožňuje vkládání dat z předpovědních meteorologických modelů.

**Obr. 3: Pokrytí území ČR hydrologickými předpovědními systémy**



*Zdroj: ČHMÚ, 2006*

**Model AquaLog** je vyvíjen firmou AquaLogic a v operativním provozu jej ČHMÚ využívá od roku 2002. Modelovací procedury jsou založeny na americkém předpovědním systému NWSRFS (National Weather Service River Forecasting System). Jako srážko-odtokový model je využíván koncepčně fyzikální model Sacramento (SAC-SMA). Pro výpočet odtoku ze sněhu pak slouží model SNOW-17, který je zároveň schopný modelovat i akumulaci sněhové pokrývky (Daňhelka *et al*, 2006). SNOW-17 lze zařadit do kategorie hybridních modelů, neboť k modelaci odtoku z tání sněhu využívá jak zjednodušený energetický bilanční přístup, tak indexovou metodu. Jako vstupní data mohou sloužit pouze data o teplotě vzduchu a srážkách, což představuje obrovskou výhodu pro jeho operační použití v praxi. Veškeré ostatní prvky energetických procesů dopočítává model na základě těchto dvou hodnot a odvozených paramterů.

V bezsrážkovém období používá model přístup degree-day, tak jak byl popsán v předchozí kapitole. V případě vypadávání srážek na sněhovou pokrývkou používá model zjednodušenou energetickou bilanci. Hlavní zjednodušení jsou následující (Němečková, 2007):

- předpoklad zatažené oblohy při vypadávání srážek, tedy příjem přicházejícího slunečního záření je zanedbatelný
- přicházející dlouhovlnné záření je rovno záření černého tělesa
- teplota dopadajících srážek je blízká teplotě vzduchu
- předpokládá se vysoká relativní vlhkost vzduchu (90 %)

Zjednodušená energetická bilance je využívána v případě, kdy množství srážek překročí 2,5 mm za 6 hodin (Krejčí, 2000). SNOW-17 rozděluje povodí do několika výškových pásem a simuluje pomocí křivky úbytek plochy se sněhovou pokrývkou. Údaje o průměrné plošné vodní hodnotě sněhu jsou po úpravě přejímány ze staničních měření. Model ale umožňuje i simulaci akumulace sněhu v povodí na základě určení kritické teploty rozhraní vypadávání srážek ve formě deště či sněhu.

---

**Model Hydrog** je vyvíjen od roku 1991 na VUT v Brně. Model rozděluje povodí do oblastí s konstantními vlastnostmi – sklon, drsnost atp. (Hrušková, 2006). Srážky dopadající na takto schematizované povodí jsou transformovány na část, kterou pohltí infiltrační proces, a zbytek srážek pak tvoří povrchový odtok, který je pomocí jednotkového hydrogramu transformován do koryta toku (Daňhelka *et al.*, 2006). Model je primárně koncipován pro chod při srážkově významných událostech a nevyžaduje kontinuální provoz. Odtok ze sněhu je počítán pouze metodou degree-day. Pro tuto komponentu model obecně vyžívá měřených dat o teplotě vzduchu v hodinovém kroku a výšce a vodní hodnotě sněhové pokrývky (většinou v týdenním kroku, z některých stanic jsou k dispozici data v denním kroku). Teplota vzduchu je rovněž předpovídána v kroku šesti hodin.

**Model Mike – 11** je produktem dánské společnosti DHI a v ČR je upraven a nakalibrován pro povodí Moravy a Bečvy. Pro odtok ze sněhu využívá rovněž pouze metodu degree-day. Povodí Moravy je z hydrologicko-předpovědního hlediska řešeno jako celek a výsledky z modelu Hydrog i Mike – 11 jsou používány jednotlivými pobočkami ve vzájemné součinnosti.

## 2.6 Možnosti měření charakteristik sněhové pokrývky

Základní údaje reprezentující sněhovou pokrývku představují její výška a vodní hodnota. Vodní hodnota je obtížněji měřitelná než výška, ale pro hydrologii představuje daleko cennější údaj. Obecně můžeme zdroje údajů o sněhové pokrývce rozdělit na:

- staniční měření a měření pomocí permanentně umístěných zařízení
- mobilní terénní výzkum (tzv. expediční měření)
- údaje získané pomocí DPZ

První dva způsoby přitom představují bodový typ měření, kdy je reprezentativnost naměřené hodnoty ovlivněna nejen chybou měření, ale i volbou místa pro odběr vzorku či umístění měřicího zařízení. Jednotlivé způsoby získávání informací o sněhové pokrývce se liší svou přesností i rozsahem vhodnosti využití pro konkrétní aplikaci. Stejně tak kladou různé nároky na přístrojové, finanční a časové zabezpečení.

### 2.6.1 Staniční měření

Standardy pro měření výšky a vodní hodnoty sněhu na meteorologických stanicích udává World Meteorological Organization (WMO) v rámci svého programu IMOP (Instruments and Methods of Observation Programme).

#### Termínová měření

Celková výška sněhové pokrývky je měřena v 7 hodin ráno místního času, nejčastěji pomocí sněhoměrné latě (pevné nebo přenosné) na otevřené ploše v blízkosti stanice co nejméně ovlivněné větrem. Měření se provádějí opakovaně a výsledkem je průměrná hodnota těchto měření.

---

Výška nově napadlého sněhu je měřena pomocí sněhoměrného prkénka (rozměry by měly být min.  $30 \times 30$  cm) a pravítka. Na srážkoměrných stanicích je odečítána výška v termínu 7 hodin ráno místního času. Na stanicích základních pak i v termínech 14 a 21 h místního času.

K měření vodní hodnoty se v nížinných oblastech nejčastěji využívá nádoba staničního srážkoměru, kterou se odebere příslušný svislý sloupec sněhu až k povrchu země (Kříž *et al.*, 1988). Po roztátí v místnosti či přidáním přesně změřeného množství teplé vody (které je posléze odečteno) se objem změní odměrkou.

V případě výskytu většího množství sněhu (zejména na horských stanicích) se k určení vodní hodnoty používá váhový sněhoměr. Ten se skládá z odběrného válce o známém průměru a hmotnosti, kterým je odebrán vzorek sněhu jako v předchozím případě. Válec s odebraným vzorkem je zvážen a čistá hmotnost sněhu je přepočítána na výšku ekvivalentního sloupce vody.

### **Kontinuální měření**

Výhodou kontinuálních měření je možnost detailnějšího vyhodnocení změn základních charakteristik sněhové pokrývky mezi standardními termíny měření a rovněž schopnost automatického provozu bez nutnosti stálé lidské obsluhy. Je pochopitelné, že většina níže popsanych metod může rovněž sloužit k odečítání hodnot pro termínová měření.

Pro **kontinuální měření výšky sněhové pokrývky** jsou nejčastěji používána optická zařízení pracující na principu postupného přerušování paprsků o známé výšce nad zemí na paralelně umístěných sondážních tyčích či odrazu od povrchu sněhu (Singh, 2001). Další možností určování výšky sněhové pokrývky je např. využití ultrazvukového odrazu. Jak již ale bylo uvedeno, samotná výška sněhové pokrývky není pro hydrologické potřeby natolik důležitým údajem, aby jeho kontinuální měření bylo nezbytně nutné a přinášelo výsledky odpovídající vynaloženým nákladům.

Výrazně užitečnější, ale o to obtížnější, je **kontinuální měření vodní hodnoty**. Tu je možné měřit např. pomocí na zemi instalovaných „sněhových polštářů“ naplněných nemrznoucí kapalinou, kdy tlak vyvíjený na polštář slouží k určení hmotnosti sněhu a výpočtu vodní hodnoty (obr. 4). Pro experimentální použití se začaly sněhové polštáře vyvíjet od 60. let 20. stol. (Beaumont, 1965) a jejich přesnost měření se v současnosti pohybuje kolem 5–10 % (WMO, 2006). Velikost polštáře se pohybuje řádově mezi 4 až 10 m<sup>2</sup> v závislosti na předpokládané maximální akumulaci sněhu v lokalitě (Singh, 2001). Na principu měření hmotnosti sněhové vrstvy jsou založeny i nejrůznější membránové přístroje, které jsou rozšířeny méně.

Další možností je **bezkontaktní kontinuální měření vodní hodnoty**, založené většinou na principu měření míry zeslabení záření detekovaného snímačem umístěným na rameni nad sněhovou pokrývkou, které je úměrné obsahu vody v měřeném profilu. V případě umělého radio-izotopového zářiče je jeho použití poměrně spolehlivé do výšky sněhové pokrývky cca 150 cm či vodní hodnoty 500 mm (WMO, 2006). Metoda se používá od 50. let 20. stol. (Singh, 2001).



Zdrojem detekovaného záření může být i gama záření emitované přirozenou radioaktivitou svrchních vrstev půdy (Cline, 1999). Metoda je opět založena na principu měření míry zeslabení tohoto záření vrstvou sněhu (respektive obsaženou vodou). Jako limitující jsou udávány maxima vodní hodnoty 300 mm. Přesnost měření se pohybuje kolem  $\pm 20$  mm (WMO, 2006).

Výhodou bezkontaktního měření je jeho nedestruktivnost. Vodní hodnota může být měřena na jednom profilu, aniž by docházelo k narušování sněhové pokrývky, a je tak zaručena srovnatelnost měření. Obě tyto základní metody vyžadují ale precizní kalibraci. V současné době zároveň existují i mobilní bezkontaktní měřicí přístroje, které je možné použít při terénních měřeních.

Určení přírůstku vodní hodnoty umožňuje i použití běžného automatického srážkoměru, který je vybaven vyhřívacím systémem. Tyto srážkoměry přitom pracují na principu měření hmotnosti srážek či na detekci naplnění odběrové misky známého objemu, které je zaznamenáno jako puls (člunkové srážkoměry). Rozlišení zda se jednalo o srážky pevné či kapalné musí ovšem provést pozorovatel. Pro zjištění celkového objemu srážek v odlehlých oblastech jsou rovněž používány nejrůznější typy totalizátorů, u kterých ovšem opět nelze rozlišit srážky kapalné a pevné a navíc u pevných srážek dochází k významným ztrátám sublimací neroztátého sněhu.

**Obr. 4: Sněhový polštář instalovaný v zalesněné lokalitě**



Zdroj: < [http://www.state.nj.us/drbc/Flood\\_Website/snowpillowphoto.htm](http://www.state.nj.us/drbc/Flood_Website/snowpillowphoto.htm) >

## **Shrnutí**

Staniční měření představují základní zdroj dat pro získávání charakteristik o sněhové pokrývce v prostoru. Výhodou je celosvětově standardizovaný způsob měření, který zaručuje srovnatelnost měřených hodnot. Dále pak rychlý přístup k údajům, zvláště v případě existence telemetrického přenosu dat, a to i z automatických stanic v odlehlých oblastech.

Nevýhodou je omezení prostoru měření na jedinou lokalitu. Výběr lokality je totiž klíčovým faktorem ovlivňujícím reprezentativnost měření pro území, jež by měla stanice pokrývat (WMO, 2006). Velké omezení spočívá v umísťování meteorologických stanic na otevřených plochách. Ty tak nemohou postihnout charakteristiky sněhové pokrývky na zalesněných plochách, a ty

---

přítom mohou v oblasti převažovat. Přesnost měření je navíc obecně u měření srážek ovlivňována působením větru v závislosti na použitém zařízení (Singh, 2001).

Mimo meteorologické stanice tak může být kterýkoliv z výše uvedených způsobů měření využit i pro měření charakteristik sněhové pokrývky ve specifických podmínkách, jako právě např. umístění přístroje v lesním porostu či obecně v místě, které je reprezentativnější pro daný účel měření. I zde je ale pro dosažení nejlepších výsledků klíčová volba konkrétního stanoviště.

Pro výpočet vodní hodnoty je možné v případě absence přímého měření využít i údaje o výškách nově napadlého sněhu. WMO (2006) v takovém případě doporučuje počítat s vodní hodnotou 1 mm z výšky 1 cm čerstvého sněhu.

### **2.6.2 Mobilní terénní výzkum (tzv. expediční měření)**

Expediční měření se využívají pro detailnější výzkum akumulace sněhové pokrývky v případě, že údaje ze staničních měření neposkytují reprezentativní hodnoty pro danou oblast nebo je síť nedostatečně hustá. Prostorová variabilita sněhové pokrývky přitom vzrůstá se členitostí terénu a různorodostí vegetačního krytu (Molotch *et al.*, 2005). Sněhoměrné výzkumy jsou tak důležitým prostředkem pro určování zásob vody akumulovaných ve sněhu v zájmovém povodí. V závislosti na míře přesnosti potřebných vstupních údajů a charakteru terénu je možné volit různé úrovně hustoty měřených bodů.

Expediční měření se většinou provádějí jako doplňková ke staničním, zejména v době maximální akumulace sněhové pokrývky, které je většinou dosahováno těsně před začátkem tání.

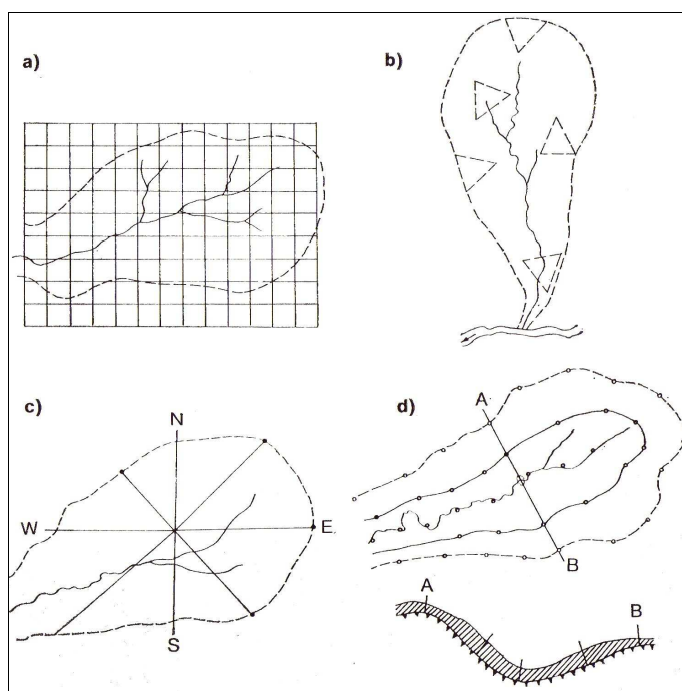
Měření se provádí různými metodikami na tzv. traťových sněhoměrných snímcích (Kříž *et al.* 1989). Jejich typické tvary ukazuje obr. 5. Základem je vždy vybrat k měření vodní hodnoty a výšky sněhu taková místa, která nejlépe charakterizují širší okolí, a následně tak umožní interpolaci naměřených hodnot pro získání průměrné hodnoty odpovídající zájmovému území.

Traťové snímky se dělají buď jednorázově na tratích použitých pouze při konkrétní sněhoměrné kampani, nebo častěji na stálých stanovištích, která mohou být označena např. latí, tak aby byla zaručena porovnatelnost shromážděných dat (Singh, 2001). Stejný autor uvádí detailnější popis konkrétních možností praktické aplikace této metody.

Expediční měření umožňují získat množství dat z různých specifických lokalit, jako je lesní prostor, lesní mýtiny či terén s různou sklonitostí a orientací. Pro měření vodní hodnoty se nejčastěji používají váhové sněhoměry, pro měření výšky pak přenosné sněhoměrné latě či jsou pro měření výšky uzpůsobeny samotné odběrové válce sněhoměrů.

Mezi hlavní limitující faktory této metody výzkumu patří časová a fyzická náročnost pro samotné pracovníky v terénu, a s tím spojená náročnost finanční. I když měření expedičním způsobem po traťových snímcích dokáže daleko lépe postihnout prostorovou variabilitu akumulace sněhové pokrývky než měření omezené na staniční síť, stále se jedná o metodu, která se ve své podstatě opírá o jednotlivá bodová měření a výběr reprezentativního místa odběru vzorku podléhá subjektivnímu rozhodnutí výzkumníka.

**Obr. 5: Traťové sněhoměrné snímky**



**a) podle čtverců, b) podle trojúhelníků, c) podle radiálních tratí, d) vrstevnicové**

*Zdroj: podle Dub, 1957 in Kříž et al., 1988*

### **2.6.3 Využití DPZ pro určování parametrů sněhové pokrývky**

Využití prostředků DPZ se v praxi omezuje pouze na využití snímačů, jejichž nosiči jsou letadla a družice. Prostředky DPZ dovolují v současné době sledovat základní charakteristiky sněhové pokrývky stále s poměrně omezenou přesností, ale i tak představují pro hydrologické aplikace velký přínos (Špátová, 2005). Jejich úloha je téměř nezastupitelná u určování plošného rozsahu sněhové pokrývky v čase. Mezi notoricky známé výhody použití prostředků DPZ patří především možnost získávání informací z velkých i vzdálených území v takřka reálném čase.

#### **Snímače umístěné na letadlech**

Nejrozšířenějším způsobem využití je určování vodní hodnoty pomocí detekce míry zeslabení přirozeného terestrického gama záření vodou akumulovanou ve sněhové pokrývce (Singh, 2001). Této metody je využíváno zejména v severní části USA a Kanady, kde se měření vodní hodnoty provádí pravidelně od 80. let 20. stol. (Caroll, 2001). U zájmové oblasti musí být nejdříve změřena intenzita gama záření bez sněhové pokrývky. V období se sněhovou pokrývkou pak letoun měří gama záření po stejné trase a na základě rozdílu měřených hodnot je vypočítávána vodní hodnota. Výška letu se pohybuje maximálně do 300 m nad zemí. Metoda se hodí spíše pro rovinné oblasti a její omezení je dáno maximální vodní hodnotou kolem 100 mm. I z tohoto důvodu zatím není příliš využitelná pro horské oblasti (Singh, 2001). Různé zdroje udávají přesnost kolem 10 % (např. Singh, 2001). Ta však klesá s příchodem jarního tání,

---

kdy se ve sněhové pokrývce objevuje tavná voda (Cline, 1999). Přesnost je rovněž horší u určování vodní hodnoty na zalesněných plochách (Caroll, 2001).

Specifickou metodou je snímkování oblastí s osazenými sněhoměrnými latěmi, kdy je výška sněhové pokrývky vyhodnocována na základě odečtení hodnoty na lati z leteckého snímku (Singh, 2001). Tato metoda ovšem nemůže být chápána jako klasický nástroj DPZ, neboť se nejedná o bezkontaktní měření, ale o prosté odečítání hodnot z pozemního přístroje.

Experimentálně se využívá i fotogrammetrických metod, které jsou ovšem opět zdrojem informací pouze o výšce sněhové pokrývky (Singh, 2001). Letecké snímkování může rovněž sloužit k vyhodnocení prostorového rozsahu výskytu sněhové pokrývky.

### **Družicová pozorování**

Na družicové systémy je v současné době směřována hlavní pozornost ve vývoji prostředků DPZ a představují i nejperspektivnější oblast dalšího vývoje DPZ (Špátová, 2005). Využití družicových pozorování pro monitoring sněhové pokrývky a ledovců je spojeno se samotným počátkem dálkového průzkumu pomocí satelitů (Meier, 1979). Výskyt sněhové pokrývky je snadno detekovatelný v celé řadě spektrálních pásem (Špátová, 2005). Zasněžený terén ale může být v určitých pásmech snadno zaměnitelný s některými typy oblačnosti (Řezáčová, 2007).

Pro získávání údajů o výšce sněhu či jeho vodní hodnotě je využití satelitních pozorování stále omezené. Zejména co se týče přesnosti a prostorového rozlišení. Obecně je pro měření těchto parametrů využívána viditelná část spektra s blízkým infra-červeným a dále mikrovlnné pásmo. Zdá se, že i přes rychlý vývoj jsou tato data využitelná stále pouze na úrovni částí kontinentů či států (Špátová, 2005). Použití družicových snímků je testováno např. pro horská povodí Alp, kde se zdá, že při korekci dat a kalibraci pozemním měřením, je možné dosáhnout rozumné přesnosti při určování vodní hodnoty (Ranzi *et al.*, 1998).

Data ze satelitů jsou tak vhodným prostředkem pro určování vodní hodnoty zejména v odlehklých oblastech bez dostatečně husté staniční sítě. Je ovšem zároveň nesmírně složité získat nejaktuálnější informace k dané problematice pro její rychlý vývoj, a objektivně tak zhodnotit skutečné schopnosti těch nejmodernějších prostředků DPZ.

## **2.7 Měření parametrů sněhové pokrývky v rámci ČHMÚ**

### **2.7.1 Staniční síť**

V české republice je celková výška sněhové pokrývky a výška nového sněhu měřena denně na všech pozemních meteorologických stanicích podle doporučení WMO v případě, že se sníh vyskytuje. Možnost pochybení při měření těchto parametrů je minimální (Řiřicová *et al.*, 2006).

Měření vodní hodnoty je zpravidla prováděno jen při výskytu souvislé sněhové pokrývky vyšší než 4 cm (Kříž *et al.*, 1988) opět na všech pozemních meteorologických stanicích. V současné době to představuje cca 800 stanic, ale pro potřeby operativního provozu jsou

---

k dispozici údaje z přibližně 300 stanic (Řiřicová *et al.*, 2006). K měření se používá staniční srážkoměr, při větších mocnostech sněhové pokrývky pak váhový sněhoměr, tak jak bylo popsáno v předchozích kapitolách. Vodní hodnota je obvykle měřena jednou týdně v pondělí. Pravidelné měření vodní hodnoty a vyhodnocování zásob vody akumulovaných ve sněhové pokrývce přitom ČHMÚ provádí od 60. let 20. stol. (Kakos *et al.*, 2006)

Staniční měření je nepravidelně doplňováno o expediční měření v oblastech s nedostatečným pokrytím stanic (zejména v horských oblastech), v povodích některých přehradních nádrží a pro ověření správnosti měření ve staniční síti. Snaha je provádět tato měření před očekávaným počátkem tání nebo v době maximální akumulace sněhové pokrývky. Výsledky těchto měření ukazují, že údaje, které poskytuje většina stanic jsou podhodnocené (Řiřicová *et al.*, 2006), a pro použití dat pro hydrologické předpovědi a vyhodnocování zásob vody ve sněhové pokrývce musí být s tímto faktem počítáno.

Pro možnost denního určení vodní hodnoty je v rámci ČHMÚ s úspěchem používán vzorec dr. Němce, který jako vstupní údaje pro výpočet vyžaduje pouze ty, které jsou denně k dispozici ze srážkoměrných stanic (denní úhrn srážek, výška nového sněhu, celková výška sněhové pokrývky), a hodnotu průměrného denního tlaku vodní páry z vhodné klimatologické stanice (viz např. Němec, 2006). Použití výpočtu umožňuje dodávat aktuální data o vodní hodnotě sněhu pro modelaci odtoku, která jsou jinak k dispozici pouze jednou týdně.

### 2.7.2 Experimentální povodí

Od 80. let 20. stol. je rovněž provozována řada menších experimentálních povodí ČHMÚ v Jizerských horách, kde probíhá mimo jiné zkoumání variability časového a prostorového rozložení sněhové pokrývky. V současné době je v provozu sedm těchto povodí v blízkosti vodních nádrží Josefův Důl a Souš (Jirák, 2005). Parametry sněhové pokrývky jsou měřeny na řadě profilů, které mají za úkol reprezentovat ukládání sněhu v lokalitách s různým vegetačním pokryvem (obecně otevřená plocha × les), sklonitostí a orientací. Dokumentovány jsou např. rozdíly v hodnotách výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty během jednotlivých zimních sezon při srovnání podkorunových akumulací sněhu v lese, a naproti tomu na otevřené ploše (Jirák, 2005). Měření jsou porovnávána se staničním měřením v Bedřichově. Zkoumán je rovněž vliv odlesnění na hydrologickou bilanci těchto malých povodí. Výsledky výzkumů jsou průběžně publikovány (např. Bercha *et al.*, 2008).

Detailní vyhodnocování výskytu sněhové pokrývky bylo rovněž prováděno v povodí vodní nádrže Nýrsko. Zásoby vody akumulované ve sněhu a prostorová variabilita charakteristik sněhové pokrývky byly určovány detailním terénním měřením pomocí traťových snímků. Při výzkumu byla rovněž snaha optimalizovat výběr referenčních tratí tak, aby bylo nutno provádět co nejmenší počet náročných měření při zachování potřebné přesnosti. Některé výsledky a závěry těchto výzkumů přináší např. Barták (1995)

Kromě experimentálních povodí ČHMÚ je problematika sněhové pokrývky zkoumána v České republice i na dalších lokalitách. Výzkumy v tomto směru provádí právě např. Přírodovědecká fakulta UK, Fakulta lesnická a dřevařská ČZU a další instituce. Některé

---

dosavadní dílčí výsledky komplexního hydrologického výzkumu probíhajícího v pramenné oblasti Otavy prováděného Katedrou fyzické geografie a geoekologie při PřF UK prezentuje např. *Kocum a Janský* (2008).

## 2.8 Prostorové vyhodnocení bodových měření sněhové pokrývky

Pro interpolaci a extrapolaci dat, která mají většinou charakter bodových měření, je v současné době nejvíce využíváno patřičných aplikací v prostředí GIS. Interpolace obecně představují aplikaci algoritmu váženého průměru pro odhad hodnot zájmové veličiny v okolí známých (naměřených) hodnot. Jednotlivé interpolační techniky se liší právě použitím různých váhových faktorů (např. *Kubíček*, 2006).

V zásadě můžeme dělit interpolační techniky podle toho, zda zachovávají původní naměřenou hodnotu veličiny ve známém bodě na exaktní a aproximační. Mezi základní metody používané při analýzách v prostředí GIS patří zejména (podle *Juřikovská, Šeděnková*, 2008):

- **IDW** (Iverse distance weighting) – při výpočtu je použit vážený lineární průměr. V základní podobě jde o exaktní interpolační metodu.
- **Spline** – metoda minimální křivosti – metoda využívá kubických funkcí pro tvorbu interpolačních křivek. Jednotlivé křivky tvořící úseky mezi body jsou interpolovány zvlášť.
- **Kriging** – patří mezi tzv. geostatistické metody. Váha je počítána podle funkce – variogramu, který je v základní podobě lineární. Metoda krigování nabízí ve většině GIS softwarů možnost nastavení řady ovladatelných parametrů.

Výhodou interpolace v prostředí GIS je možnost snadné implementace vlivu dalších faktorů na interpolovanou veličinu. Pomocí rastrových výpočtů tak lze např. zohlednit vliv nadmořské výšky apod. (např. *Tolasz et al.*, 2007). Možnosti zohlednění vlivu více faktorů při určování prostorové distribuce vodní hodnoty, jako jsou orientace svahů, sklonitost či zalesnění, popisuje např. *Molotch et al.* (2005).

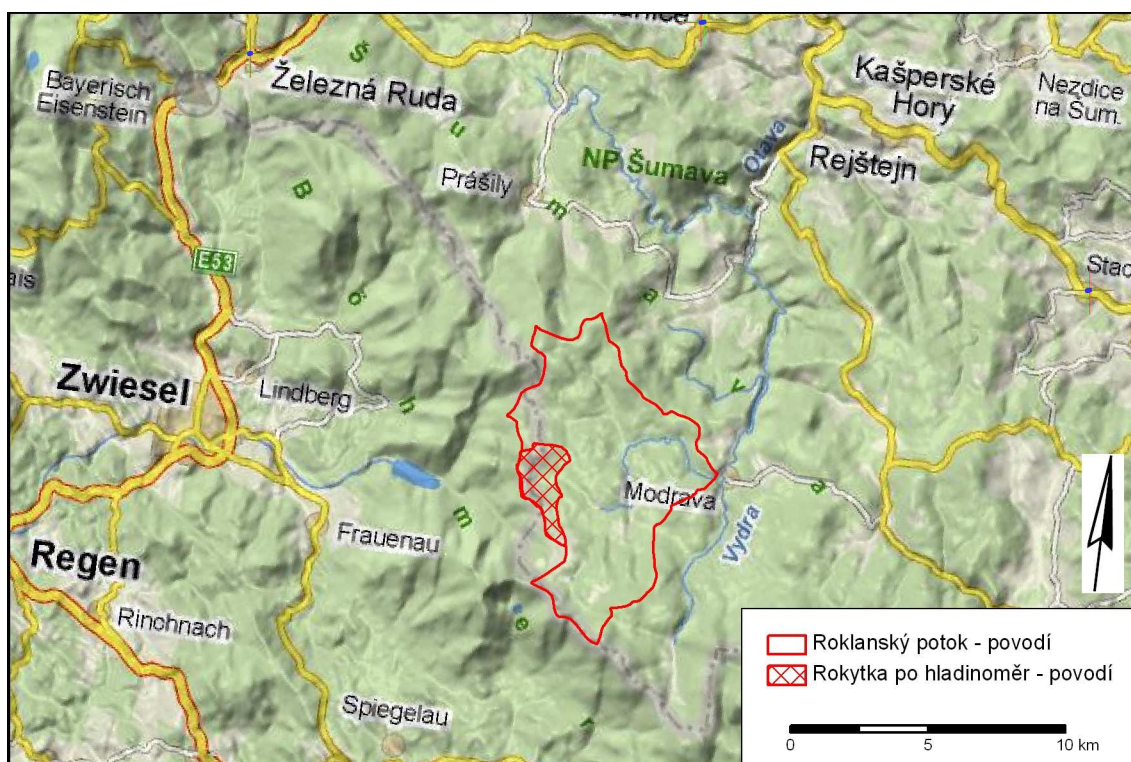


### 3 CHARAKTERISTIKA MODELOVÉHO POVODÍ ROKYTKY

Tato kapitola má za úkol podat nejzákladnější informace o modelovém povodí Rokyty, ve kterém v zimních sezonách 2006/7 a 2007/8 probíhala expediční měření sněhové pokrývky. Fyzicko-geografická charakteristika povodí je omezena na nezbytné minimum, neboť dané území bylo komplexněji popsáno v rámci bakalářské práce (Jelínek, 2006) zaměřené na celé povodí Roklanského potoka, jehož je povodí Rokytky povodím dílčím.

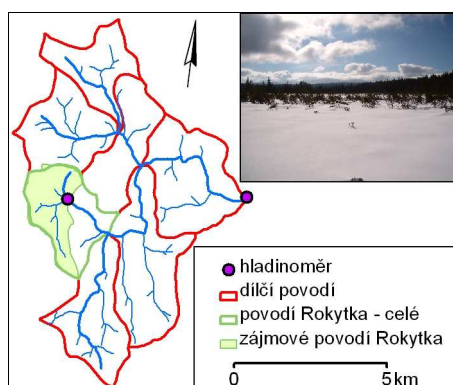
Povodí Rokytky je situováno v centrální části Šumavy v oblasti tzv. Modravských plání. Většina povodí se nachází v české části Šumavy, menší část zasahuje do SRN. Rokytky je tokem VI. Řádu, který se jako levostranný přítok vlévá do Roklanského potoka. Soutokem Roklanského a Modravského potoka v obci Modrava vzniká řeka Vydra, která se po 12 km mění v Křemelnu v Otavu (obr. 6). Celková plocha povodí Rokytky je 6,2 km<sup>2</sup>. Jak již bylo uvedeno v úvodu, zájmovým povodím této práce je pouze jeho dílčí část vymezená závěrovým profilem hladinoměru (obr. 7). Takto vymezené povodí má rozlohu 3,9 km<sup>2</sup>.

Obr. 6: Přehledová mapa zájmové oblasti



Zdroj: < [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz) >, zpracování autor

**Obr. 7: Dílčí povodí Roklanského potoka**



*Zdroj: podkladové vrstvy VÚV, zpracování autor*

### 3.1 Podkladová data

Veškeré prostorové analýzy a mapové výstupy v této práci byly provedeny pomocí software ArcGIS 9.2 společnosti Esri. Jako základní podkladové vrstvy toků a dílčích povodí byla použita vektorová data ve formátu shapefile Výzkumného ústavu vodohospodářského (VÚV).

Ostatní geografická data byla získána online z GIS serveru <geoportal.cenia.cz>. Jednalo se zejména o datový set DMÚ – 25 (využitý především pro výškopisné údaje) a georeferencované letecké snímky.

Finální vrstva říční sítě v povodí Rokytky (dále bude vždy uvažována pouze jeho část vymezená hladinoměrem) vznikla doplněním a zpřesněním vrstvy říční sítě VÚV, které bylo provedeno vektorizací nad georeferencovaným leteckým snímkem a v konfrontaci s DMÚ – 25.

Vektorizací nad leteckým snímkem vznikla rovněž vrstva otevřených ploch, která byla použita k určení míry zalesněnosti povodí Rokytky.

Z dostupných mapových podkladů v analogové i vektorové formě není zřejmé, který z toků je považován za hlavní zdrojnicí Rokytky, a kde tedy Rokytka pramení. Chábera (1987) udává obecně oblast Rokyteckých slatí. U vektorových dat VÚV je jako hlavní tok Rokytky veden úsek pramenící v severovýchodní části povodí (viz obr. 8). Ten ovšem svým charakterem neodpovídá hydrologickým nárokům kladeným na určení hlavní zdrojnice (velikost průtoku, plochy povodí a délky toků uvažovaných zdrojnic). Je ovšem pochopitelné, že při vytváření těchto vektorových dat pro celou Českou republiku nebyl kladen důraz na detailní zpracování drobných vodních toků.

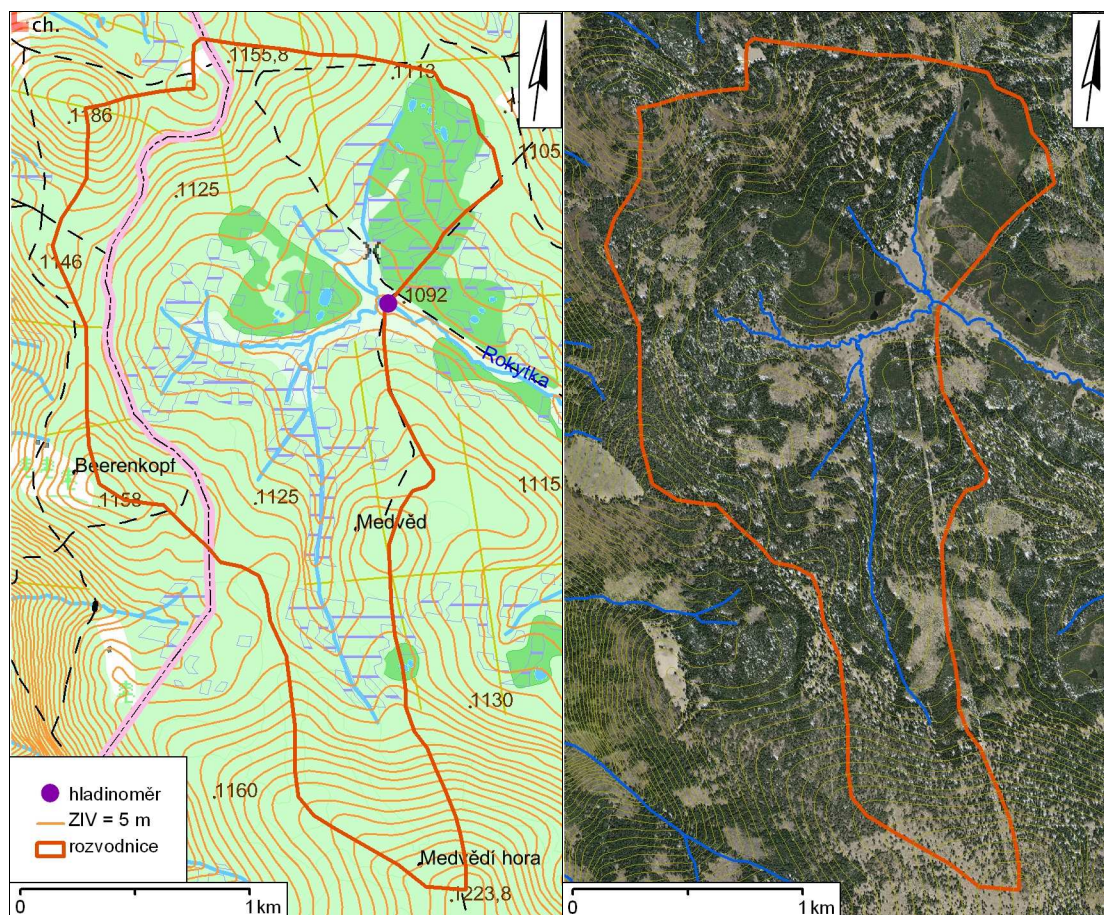
### 3.2 Vymezení zájmového území

Hladinoměr instalovaný a provozovaný Katedrou fyzické geografie a geoekologie PřF UK se nachází na konci zatrubněného úseku Rokytky procházejícího hrází bývalé klauzy (nádrže využívané pro plavení dřeva) v prostoru Rokyteckých slatí ve výšce 1089 m n. m. (obr. 8). Orograficky vymezená rozvodnice odtud ubíhá nejdříve na severovýchod, poté se stáčí na západ



až k bezejmenné kótě 1186 m n. m. Dále pokračuje na jih a posléze na jihovýchod přes vrchol Beerenkopf v SRN (1158 m n. m.) k nejvyššímu bodu povodí – Medvědí hoře (1224 m n. m.). Tento úsek rozvodnice Rokytky je zároveň částí hlavního evropského rozvodí Labe – Dunaj. Z Medvědí hory klesá rozvodnice přímo na sever zpátky k hladinoměru.

**Obr. 8: Přehledová mapa povodí Rokytky (po hladinoměru) a letecký snímek oblasti**



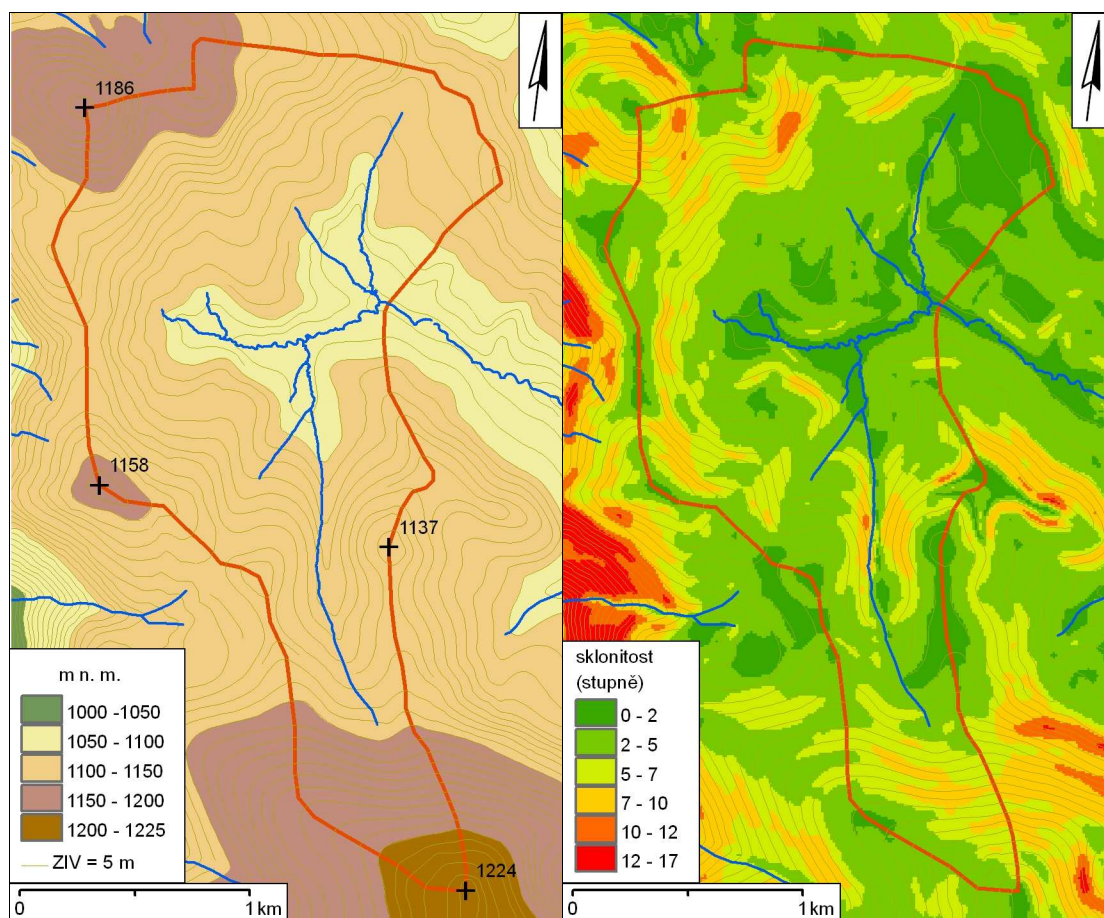
Zdroj: podkladové vrstvy <geoportal.cenia.cz>, zpracování autor

### 3.3 Výškové a sklonitostní poměry

Povodí Rokytky z hlediska geomorfologického členění České republiky náleží k podokrsku Modravské pláně. Poloze v centrální zarovnané části pohoří Šumavy odpovídají výškové poměry. Nadmořské výšky se pohybují v rozmezí 1089–1224 m n. m. s průměrnou hodnotou 1125 m n. m. (obr. 9).

Ač je Rokyta povodím horským, poloha v zarovnané části Šumavy mu dává charakter poměrně plochého povodí. Rozdíl v nadmořské výšce nejnižšího a nejvyššího bodu je 135 m. Průměrný sklon svahů dosahuje pouhých 4 °. Pouze ojediněle přesahuje sklonitost svahů 10 ° (obr. 9) a maximálně pak dosahuje hodnoty 12 °.

Obr. 9: Výškové a sklonitostní poměry v povodí Rokytky



Zdroj: podkladové vrstvy <geoportal.cenia.cz>, zpracování autor

### 3.4 Geologická stavba, půdy a zalesnění

Horninové podloží povodí Rokytky je podle geologické mapy 1 : 50 000 tvořeno především žulou a migmatity. V centrální ploché části povodí dominují holocenní rašeliniště.

Z půdních typů převažují podzoly, které jsou typické pro zalesněné části povodí. Velký význam mají zmiňovaná rašeliniště, vázaná především na centrální plochou část povodí.

Míra zalesnění byla určena jako doplněk plochy po vektorizaci otevřených ploch nad leteckým snímkem. Zalesnění povodí Rokytky tak mohlo být odhadnuto na cca 70 %. Charakter zalesnění je ale v celém povodí poměrně různorodý. Kromě vysokého smrkového porostu se v západní části povodí vyskytuje i smíšený typ lesa. V oblasti rašelinišť a vrcholových partiích převládá spíše klečový porost.

### 3.5 Klimatické charakteristiky

Klima zkoumané oblasti v kontextu České republiky je dáno především nadmořskou výškou povodí a konfigurací terénu. Popsány jsou pouze charakteristiky, které mají největší vliv na chod sněhové pokrývky.



### 3.5.1 Teplotní charakteristika

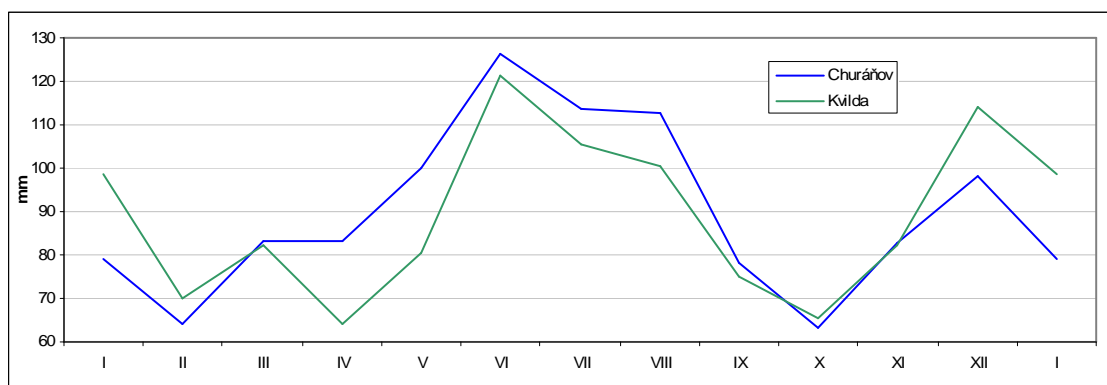
Podle *Atlasu podnebí ČR* (Tolasz et al., 2007) patří povodí Rokytky do oblasti s průměrnou roční teplotou vzduchu pod 2 °C. V zimě (prosinec až únor) je průměrná teplota vzduchu udávána pod -4 °C, takže se obecně vytvářejí příhodné teplotní podmínky pro akumulaci sněhových srážek. První měsíc s udávanou průměrnou teplotou vzduchu nad bodem mrazu je až duben.

Obecně patří oblast k nejmraznější oblasti Šumavy, ale absolutních minim je dosahováno spíše v inverzních polohách (Chábera et al., 1987). Povodí Rokytky má přitom charakter otevřené plochy.

### 3.5.2 Srážky

Při převládajícím jihozápadním a západním proudění má zkoumaná oblast výrazný charakter návětrné strany (Brázdil, 1986), kde dochází k orografickému zvýšení úhrnů srážek. V *Atlase podnebí ČR* (Tolasz et al., 2007) je oblast zařazena do nejvyššího intervalu přes 1200 mm za rok. Vlasák (2008), který pracuje s detailnějším dělením srážkových úhrnů má tuto oblast zařazenou v intervalu 1500 až 1600 mm za rok. V zimě (prosinec–únor) je průměrný úhrn srážek udán v intervalu 300–400 mm (Tolasz et al., 2007). Průměrný roční chod měsíčních úhrnů srážek v oblasti může přiblížit obr. 10. Je nutné si ale uvědomit, že poloha prezentovaných stanic má již závětný charakter vůči převládajícímu proudění. Absolutní hodnoty úhrnů srážek budou tedy v povodí Rokytky vyšší, ale relativní chod srážek by měl mít velice podobný průběh. V ročním chodu je patrné letní maximum dosahované v červnu a výrazné podružné maximum připadající na prosinec, kdy lze v povodí Rokytky předpokládat již výskyt srážek převážně ve formě sněžení.

Obr. 10: Roční chod měsíčních úhrnů srážek za období 1961–1995



Zdroj: zpracováno na základě dat ČHMÚ publikovaných Lejskovou (2000)

Klimatologické charakteristiky výskytu a charakteristik sněžení a sněhové pokrývky přináší tabulka (tab. 6), která je rovněž vytvořena na základě kartografických výstupů *Atlasu podnebí ČR*. Jak již bylo uvedeno v kapitole 2, charakteristiky sněžení a výskytu sněhové pokrývky představují komplexní ukazatel nejen srážkových, ale i teplotních poměrů území. Povodí

Rokyty přitom v naprosté většině uvedených charakteristik náleží v rámci České republiky do nejvyšších intervalů hodnot. Představuje tedy vhodné území pro zkoumání odtoku ze sněhu jako představitel typického malého horského povodí.

**Tab. 6: Klimatologické charakteristiky výskytu sněhu a sněhové pokrývky v oblasti Rokytky**

Charakteristika	Interval
Průměrný počet dní se sněžením	> 100
Průměrný počet dní s výškou nového sněhu $\geq 5$ cm	> 40
Průměrný počet dní s výškou nového sněhu $\geq 10$ cm	> 20
Průměrný počet dní s výškou nového sněhu $\geq 20$ cm	> 4
Průměr sezonních úhrnů výšky nového sněhu [cm]	> 500
Průměrné datum prvního sněžení	20.– 30. 9.
Průměrné datum posledního sněžení	31. 5. a déle
Průměrný sezonní počet dní se sněhovou pokrývkou	> 150
Průměrný sezonní počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq 10$	> 130
Průměrný sezonní počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq 20$	> 130
Průměrný sezonní počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq 50$	> 100
Průměrný sezonní počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq 100$	30 – 50
Průměr sezonních maxim výšky sněhové pokrývky [cm]	> 150
Průměr sezonních maxim vodní hodnoty sněhové pokrývky [mm]	> 300
Průměrné datum první sněhové pokrývky	do 20. 10.
Průměrné datum poslední sněhové pokrývky	po 10. 5.

*Zdroj: Atlas podnebí Česka (Tolasz et al., 2007)*

### 3.5.3 Vítr a oblačnost

Ve zkoumané oblasti celoročně převládá jihozápadní a západní proudění (dohromady přes 65 %). Nejmenší podíl mají dlouhodobě větry vanoucí od jihovýchodu (pod 5 %). Průměrnou roční rychlost větru v oblasti povodí Rokyty lze z Atlasu podnebí ČR odhadnout na  $6\text{--}8\text{ m.s}^{-1}$ .

Vítr je přitom významným faktorem ovlivňujícím míru výparu ze sněhové pokrývky, zejména ze sněhu ve vznosu, a navíc výrazně urychluje proces tání v případě přílivu teplého vzduchu.

Výskyt oblačnosti ovlivňuje energetické toky a zejména příjem přímého slunečního záření. Podle rešerše zpracované *Kubíčkem* (2006) je pro vyšší polohy Šumavy typická obecně nižší míra oblačnosti v zimním období oproti létu, a to díky výskytu zimních inverzních situací. Na druhou stranu je však oblačnost vyšší u návětrných poloh, kterou představuje právě povodí Rokytky. Stejný autor upozorňuje na častý výskyt mlh v oblasti Šumavy vázaný na vyšší polohy (nad 1200 m n. m.) a dále na konkávní polohy v terénu. Mlha se zde vyskytuje řádově 150 dní v roce (*Kubíček*, 2006). Průměrná roční oblačnost je odhadnuta na 60–65 % (*Tolasz et al.*, 2007).

## 3.6 Hydrografie a odtokový režim

### 3.6.1 Hydrografie

Číslo hydrologického pořadí povodí Rokyty (celého) je 1-08-01-007/0. Zájmové povodí Rokyty představuje rozlohou přibližně 60 % celého povodí. Základní charakteristiky výše vymezeného povodí přináší tab. 7. Při vytváření GIS vrstvy vodních toků bylo použito několika mapových podkladů konfrontovaných s leteckým snímkem, neboť veškeré vodní toky v povodí Rokyty lze označit za drobné a ve většině dostupných mapových podkladů nejsou vyvedeny v dostatečném detailu pro zkoumání takto malého povodí. Úhrnná délka toků 5,53 km změřená ve finální vrstvě vodních toků v prostředí GIS tak představuje pouze nejpřesnější možný odhad.

Jak již bylo uvedeno výše, v rámci modelového povodí lze jen obtížně určit jediný pramen Rokyty, a tím pádem i hlavní tok. Délkou by to byl zřejmě bezejmenný přítok pramenící na severním svahu Medvědí hory, který zároveň patří vizuálně k nejvodnějším tokům v povodí. Ze zkušenosti přímo z terénu považuji za nejrozměnější vymezení samotného toku Rokyty až po soutoku řady bezejmenných přítoků těsně před profilem hladinoměru PřF UK, tak jak je název toku uveden ve většině mapových podkladů.

Hustota říční sítě byla na základě uvedených podkladů vypočtena na  $1,43 \text{ km.km}^{-2}$ , a v rámci celého povodí tak Rokyty představuje tato pramenná oblast na vodní toky nejbohatší část. Hustota říční sítě pro celé povodí Rokyty je  $1,21 \text{ km.km}^{-2}$ . Systém uspořádání říční sítě lze charakterizovat jako vějířovitý.

Tvarem připomíná povodí Rokyty půlměsíc směřující svou konvexní stranou k západu. K soutoku většiny zdrojnic dochází na poměrně malém území v centrální části těsně před profilem hladinoměru PřF UK. V centrální části povodí se rovněž nachází dvě větší organogenní jezírka a řada menších. Toto území představuje západní část PR Rokytecké slati a je rovněž součástí 1. zóny NP. Největší jezírko má podle měření provedeného v roce 2003 rozlohu  $2160 \text{ m}^2$  a maximální hloubky se pohybují kolem jednoho metru (Pošta, 2004).

**Tab. 7: Základní charakteristiky modelového povodí Rokyty**

Plocha povodí	3,86 km <sup>2</sup>
Délka rozvodnice	10,22 km
Nejvyšší kóta povodí	1224 m n. m.
Nejnižší kóta povodí	1089 m n. m.
Průměrná výška povodí	1125 m n. m.
Maximální sklon povodí	12 °
Průměrný sklon povodí	4 °
Úhrnná délka toků	5,53 km
Hustota říční sítě	1,43 km.km <sup>-2</sup>

*Zdroj: podkladové vrstvy GIS <geoportal.cenia.cz>, zpracování autor*

### 3.6.2 Odtokový režim

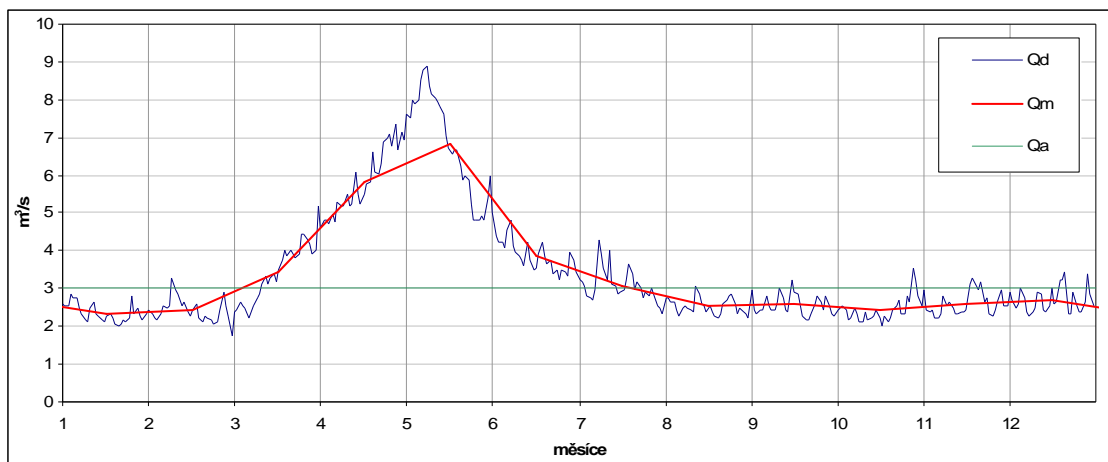
Hladinoměr PřF UK umístěný na Rokytce je v provozu teprve od července 2006. Datová řada tedy není v současné době dostatečně dlouhá pro odvozování dlouhodobých charakteristik režimu odtoku ze zájmového povodí. Aplikaci doposud získaných dat pro analýzu odtoku ve vybraném období je věnována zvláštní kapitola.

Vodočetnou stanicí s dostatečně dlouhou dobou pozorování je až stanice ČHMÚ Vydra-Modrava. Ta je umístěna ihned po soutoku Roklanského a Modravského potoka, tedy na samém počátku existence řeky Vydry. Vzdálenost hladinoměru PřF UK a profilu ČHMÚ po toku Rokytky a následně Roklanského potoka je 10,3 km. Plocha povodí vymezeného závěrovým profilem Vydra – Modrava je přitom přibližně 90 km<sup>2</sup>. Tato vodočetná stanice funguje od roku 1930 do současnosti. Mimo provoz byla v letech 1940–1948. Poskytuje tak sedmdesátiletou řadu pozorování vodních stavů a z nich odvozených průtoků.

Prakticky celé povodí vymezené profilem ČHMÚ se nachází ve výškách větších než 1000 m n. m. v geomorfologickém okrsku Kvildské pláně. Lze tedy do jisté míry předpokládat, že hlavní charakteristiky ročního chodu průtoků na tomto profilu by se měly podobat i chodům průtoků na profilu PřF UK v dílčím povodí.

Z grafu průměrného ročního chodu denních průtoků (obr. 11) je patrné, že se jedná o jednoduchý odtokový režim s výrazným maximem právě v době jarního tání sněhu, které obvykle vrcholí v první polovině května. Z měřených dat však vyplývá, že absolutních maxim průtoků bylo dosaženo během srážkových situací v letním období (Jelínek, 2006). Podíl objemu odtoku v měsících březnu, dubnu a květnu představuje přes 40 % celkového ročního odtoku.

**Obr. 11: Průměrné denní a měsíční průtoky na profilu Vydra-Modrava v období 1930–2002**



*Zdroj: data ČHMÚ zpracovaná v rámci práce Jelínka (2006)*

---

### 3.6.3 Povodňové situace

Na popis vlastností povodňového mechanismu v povodí Otavy v letech 1888 až 2006 je zaměřena práce *Vlasáka* (2008), který se při jeho zkoumání zabýval i dílčím povodím uzavřeným právě vodočetnou stanicí Modrava.

Z jeho práce vyplývá, že povodí Otavy je celkově poměrně málo citlivé na zvýšený odtok během tání sněhové pokrývky. V závěrovém profilu Písek nelze ve sledovaném období identifikovat žádnou povodňovou situaci s kulminačním průtokem větším nebo rovným jednoleté vodě, kdy by byl odtok tvořen z více než 80 % táním sněhové pokrývky. *Vlasák* dále identifikoval pouze čtyři povodňové situace, kdy podíl odtoku ze sněhu přesahoval 50 %.

V dílčích povodích situovaných v centrální části Šumavy je již však možné nalézt větší citlivost odtokové odezvy na tání sněhové pokrývky. To je dané zejména malou výškovou členitostí těchto povodí, kde tání sněhu zasahuje najednou velké části povodí s celkově vysokou nadmořskou výškou, ve kterých se sněhová pokrývka pravidelně udržuje do pozdního jara. V tomto období následně dosahuje intenzita tání poměrně vysokých hodnot a navíc se zvyšuje možnost současného výskytu výrazné srážkové situace, která již vypadává ve formě deště (*Vlasák*, 2008).

Tomuto typu povodí odpovídá i to vymezené profilem Modrava. Z analýzy povodňových situací z let 1931–2007 publikovaných v práci *Vlasáka* vyplývá:

- Povodňové situace s větším kulminačním průtokem (nad úrovní pětileté vody) jsou vázány především na letní měsíce (zejména červen).
- Na rozdíl od většiny ostatních povodí Otavy je však možné zaznamenat zvýšenou četnost povodní nad úrovní pětileté vody i v podzimních měsících a na začátku zimy (prosinec).
- Stejným specifikem je i zvýšená četnost povodňových situací právě v době jarního tání (s maximem v měsíci květnu, který je zároveň dlouhodobě nejvodnější měsícem). Kulminační průtoky se však většinou pohybují do úrovně dvouleté vody.

Z uvedeného vyplývá, že Povodí Rokytky spadá do oblasti, kde lze v jarním období ve zvýšené míře předpokládat výskyt povodňových situací se značným podílem odtoku ze sněhu. Tyto situace představují ve většině případů však pouze lokální nebezpečí, které se na dolních tocích ve větší míře neprojevuje, a typické kulminační průtoky navíc většinou nepřesahují hodnotu dvouleté vody.

---

## 4 VSTUPNÍ DATA

Analýza akumulace a tání sněhové pokrývky v sezonách 2006/7 a 2007/8 byla provedena na základě vstupních dat, které lze rozdělit do tří skupin na:

- datová řada průtoků z hladinoměru provozovaného PřF UK umístěného na Rokytce
- jednorázová terénní měření charakteristik sněhové pokrývky v povodí Rokytky
- data z meteorologických stanic situovaných v blízkosti zájmového povodí

### 4.1 Datová řada průtoků z hladinoměru

Hladinoměr instalovaný a provozovaný PřF UK, vymezující zároveň zkoumané povodí Rokytky, je v provozu od poloviny srpna 2006. Jeho umístění je možné sledovat na mapě (obr. 8). Ultrazvuková sonda a řídicí jednotka je umístěna na konci úseku toku procházejícího hrází bývalé klauzy, po které je rovněž vedena místní komunikace (obr. 12). Hladinoměr na Rokytce je jedním z více než deseti hladinoměrů PřF UK, které v současné době fungují v pramenné oblasti Otavy.

#### 4.1.1 Měřicí stanice

Měřicí sestavu tvoří ultrazvuková sonda a řídicí jednotka s napájením, které jsou výrobky firmy Fiedler. Měření výšky hladiny ultrazvukovou sondou spočívá na principu měření časové prodlevy mezi vyslaným a přijatým ultrazvukovým impulsem. Sonda slouží k měření okamžité výšky hladiny. Součástí sondy je i teplotní čidlo, které umožňuje provádět automatické korekce v závislosti na okolní teplotě.

Výška hladiny je měřena každých 10 minut (tak aby měření v tomto intervalu vycházelo vždy i na celou hodinu) a společně s údajem o teplotě je ukládána v řídicí jednotce, která slouží zároveň jako sběrnice dat. Výška hladiny je měřena v mm a byla při instalaci kalibrována na výšku hladiny ode dna toku v místě měření. Dlouhodobá chyba ultrazvukového měření hladiny nepřesahuje podle výrobce 1 %.

Naměřená data jsou jednou denně odesílána pomocí sítě GSM na server výrobce, kde jsou po zadání příslušného přihlašovacího jména a hesla on-line přístupná uživateli. Součástí zasílaných dat je tedy údaj o výšce hladiny, teplotě vzduchu a stavu nabití akumulátoru, který je energetickým zdrojem měřicí stanice. Internetová aplikace umožňuje sledovat aktuální situaci v posledních dnech do času posledního odeslání dat, prohlížení dat z historie měření, ale hlavně



také export naměřených dat v různých formátech. V případě nemožnosti odeslání dat ve stanovený termín díky špatnému signálu jsou data ukládána v řídicí jednotce a odeslána při další možné příležitosti.

Údaje o teplotě měřené čidlem je nutno bohužel chápat jako potenciálně problematické. Umístění čidla neodpovídá standardům požadovaným na měření teploty vzduchu. Datová řada teplot přesto byla zpracována obdobně jako řada průtoků (viz níže). Průměrná denní teplota tak není stanovena standardním způsobem, tedy průměrováním termínových měření od 7 do 7 hodin následujícího dne, ale jako průměr hodinových průměrů konkrétního dne od 0 do 24 hodin. Výslednou řadu je tedy nutno používat s potřebnou opatrností.

Na řídicí jednotku je rovněž napojen automatický člunkový srážkoměr. Ten ovšem bohužel není vybaven vyhříváním, takže je na zimní období vždy odinstalován. Pro zkoumané období tak existuje pouze krátká datová řada měření pro období od 1.11. 2006 do 22.1. 2007, kdy klimatické podmínky umožňovali jeho provoz a zároveň jsou k dispozici data ze staničního měření (viz 4.3).

*Obr. 12: Ultrazvukový hladinoměr provozovaný PřF UK na Rokytce*



*Foto: autor*

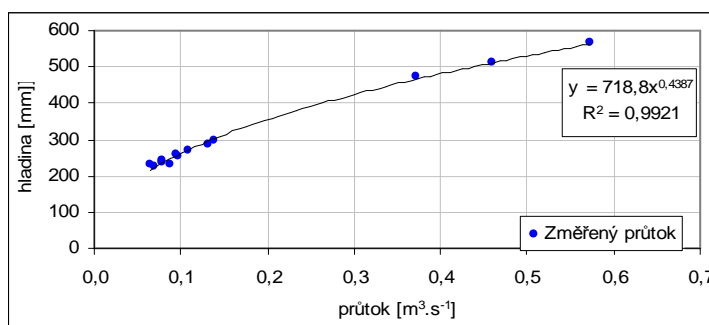
#### **4.1.2 Zpracování dat**

Zpracování dat lze rozdělit na proces odvození hodnot průtoků na základě měřených dat z hladinoměru a databázové zpracování pozorované řady.

**Konzumpční křivka** pro sledovaný profil hladinoměru, dávající do vztahu pozorovanou výšku hladiny a od ní odvozený průtok, byla sestrojena na základě celkem třinácti měření průtoků. Měření byla provedena pomocí hydrometrické vrtule za různých vodních stavů. Přesnost těchto měření by měla být velice dobrá, neboť měřicí profil je situován na konci rovného úseku v antropogenně upravené části toku, kde lze předpokládat převládající laminární proudění. Koryto má rovné dno bez překážek v proudění a břehy tvořené žulovými kvádry jsou na dno kolmé.

Samotné sestavení konzumpční křivky bylo provedeno pomocí aplikace funkce mocninného trendu mezi změřenými průtoky a příslušnými vodními stavy v programu MS Excel. Takto sestavená regresní křivka vykazuje koeficient spolehlivosti přes 0,99, a zdá se tak být velice vhodnou pro potřeby konzumpce. Výslednou konzumpční křivku s jejím funkčním vyjádřením přináší následující graf (obr. 13).

**Obr. 13: Konzumpční křivka pro profil hladinoměru na Rokytce**



**Databázové zpracování** souboru dat proběhlo v programu MS Excel. Data z hladinoměru byla stažena ze serveru společnosti Fiedler dne 3. 6. 2008, a obsahovala tak ucelenou řadu desetiminutových stavů vodní hladiny pro období 15. 7. 2006 – 2. 6. 2008. Tedy necelé dva roky pozorování. Data byla exportovaná ve formátu .xls. Vzhledem k množství údajů o vodním stavu (řádově přes 100 000) a řádkovému omezení programu MS Excel probíhal export dat postupně po jednotlivých letech.

V první fázi zpracování byl jednotlivým vodním stavům přiřazen odpovídající průtok na základě funkčního předpisu odvozené konzumpční křivky. Následně došlo k ověření počtu záznamů a doplnění chybějících měření, prováděných v kroku deseti minut, prostou lineární interpolací mezi známými hodnotami. Bylo zjištěno, že k výpadkům v měření na hladinoměrné stanici došlo v několika málo případech, které se projeví chybějícími údaji pro izolované termíny měření až po maximálně pětihodinový chybějící záznam. Šlo tedy o zcela zanedbatelné množství nezměřených termínů, ke kterým navíc nedošlo v době mimo období analyzované v této práci.

Ze souboru zkompletovaných dat měření v kroku deseti minut byly následným zpracováním vytvořeny řady průměrných hodinových a denních průtoků.

**Hodinové průtoky** byly spočteny jako průměr měření v desetiminutových intervalech během předcházející hodiny. Průměrný hodinový průtok např. pro 14:00 konkrétního dne byl spočítán jako průměr měřených hodnot hladinoměrem v termínech 13:10–14:00.

**Denní průtoky** byly spočteny jako průměr hodinových průtoků konkrétního dne. Průměrný denní průtok např. pro 25. 3. 2007 tak byl spočítán jako průměr hodinových průtoků od 1:00 25. 3. 2007 po 24:00 25. 3. 2007 (respektive v datovém souboru odpovídající 0:00 26. 3. 2007).

Pro úplnost je nutno uvést, že časové údaje v záznamu měření jsou neustále uváděny ve středoevropském čase. Letní čas se v přístroji nezavádí.

---

Povodí celého Roklanského potoka je rovněž monitorováno hladinoměrem PřF UK. Jeho umístění je patrné z obr. 7. Při zpracování dat z hladinoměru na Rokytce byla rovněž obdobným způsobem zpracována i data z hladinoměru na Roklanském potoce. Data z tohoto hladinoměru byla v práci využita zcela minimálně, neboť detailní měření sněhové pokrývky proběhlo pouze ve zkoumaném povodí Rokytky a navíc je velice problematické použití současné konzumpční křivky pro Roklanský potok pro odvození průtoků. Regresní křivka vstupních dat naměřených pomocí hydrometrické vrtule totiž nevykazuje dostatečnou spolehlivost. To může být dáno i nepřesností v měření průtoků, neboť v příčném úseku toku Roklanského potoka převažuje kamenité až balvanité dno, kde je nemožné nalézt ideální měrný profil.

## 4.2 Měření charakteristik sněhové pokrývky v terénu

Expediční měření charakteristiky sněhové pokrývky (zejména výšky sněhu a vodní hodnoty) probíhala v rámci tří několikadenních sněhoměrných kampaní v zimních sezonách 2006/7 a 2007/8. Snahou bylo vždy zvolit období maximální akumulace sněhové pokrývky. Měření probíhala na více vytypovaných povodích, jedním z nichž bylo právě povodí Rokytky. Na práci v terénu se podílela řada členů a studentů Katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK.

### 4.2.1 Metodika měření

Měření bylo prováděno bodově s cílem pokrýt dostatečně hustou sítí bodů celé povodí pro potřeby následné interpolace. Měření prováděly samostatné skupiny tvořené třemi měřiči na lyžích. Postupným zkoušením se standardizoval postup prováděných měření s cílem optimalizovat samotný sběr dat s ohledem na potřebu obsáhnout ucelené povodí během jednoho dne (zajištění stejných podmínek) a efektivně využívat vyčleněný čas.

Pro měření vodní hodnoty sněhu byla použita váhová sněhoměrná souprava SM 150-50 (obr. 14). Obsah průřezu odběrného válce je 50 cm<sup>2</sup>. Odběrný válec se pomalu zasune kolmo do sněhu až na půdu. Sníh se ve válci udusá, aby byl odebrán kompletní vzorek. Následně se válec zavěsí na hák a zváží váhou. Vodní hodnota je následně vypočtena podle obecného vzorce:

$$SVH = m/S$$

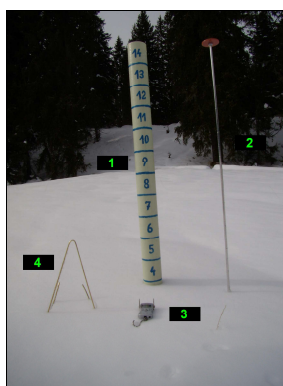
- **SVH** – vodní hodnota
- **m** – hmotnost odebraného vzorku
- **S** – obsah průřezu odběrného válce

Pro použitý sněhoměr je tedy možno přímo počítat:

$$SVH [mm] = 200 \cdot m [kg]$$

Odběrný válec je dlouhý 150 cm. Pokud je výška sněhové pokrývky vyšší, je nutno vzorek odebírat postupně. Výška sněhové pokrývky v místě odběru byla měřena tyčí s dělením po pěti centimetrech, která slouží zároveň k udusání sněhu v odběrném válci. Snahou bylo výšku sněhu odhadnout s přesností na centimetry. Výška byla měřena přímo v místě po odběru vzorku, aby bylo možno zajistit co nejpřesnější následný výpočet relativní vodní hodnoty sněhu.

**Obr. 14: Sněhoměrná souprava SM 150-50**



*1 – odběrný válec, 2 – tyč pro měření výšky sněhové pokrývky sloužící zároveň k udusání sněhu ve válci, 3 – digitální váha, 4 – závěsné vahadlo*

*Foto: auto*

Nejdůležitějším momentem celého měření je výběr samotného místa odběru vzorku. Snaha byla vždy vybrat konkrétní místo odběru tak, aby co nejlépe reprezentovalo danou lokalitu. Výška sněhové pokrývky se zejména v lese výrazně mění i na velmi krátkých vzdálenostech. Povrch sněhové pokrývky má často zvlněný charakter, a výběr reprezentativního místa odběru proto podléhá subjektivnímu zhodnocení měřiče. Pro výběr konkrétního místa odběru je tedy nutná jistá zkušenost a cit.

Měření probíhalo s krokem přibližně 200 m. Každý měřený bod byl zaměřen pomocí GPS a byl mu přiřazen kód umožňující následné propojení s daty zaznamenávanými do poznámkového bloku. U každého bodu byly zaznamenány tyto údaje o měřených hodnotách a charakteru místa odběru:

- identifikační kód pro databázové napojení s polohopisnými daty z GPS přijímače
- pokrytí vegetací
- expozice
- sklon
- hmotnost odebraného vzorku
- výška sněhové pokrývky
- případné poznámky

**Pokrytí vegetací** bylo kódováno pomocí tří kategorií:

- 1 – otevřená plocha, kde se dalo očekávat působení větru bez většího ovlivnění krajinným pokryvem.
- 2 – plochy částečně chráněné před působením větru. Jednalo se zejména o lesní mýtiny, průseky, cesty. Mrtvé části lesa zasaženého kůrovcem, řídký les nespádající do kategorie 3.
- 3 – les

**Expozice** vůči světovým stranám představovala spíše doplňkový údaj pro kontrolu či pro postihnutí lokální anomálie, kterou by nešlo zjistit pomocí výpočtu expozice v prostředí GIS.

**Sklon** byl rovněž pouze doplňkový údaj umožňující postihnout lokální specifika konkrétního místa odběru mimo rozlišovací schopnost standardního výpočtu sklonitosti v prostředí GIS. Zvolena byla pouze třístupňová škála: 1 – rovina, 2 – mírný svah, 3 – strmý svah. Zařazení do kategorie bylo dáno pouze subjektivním citem zapisovatele.

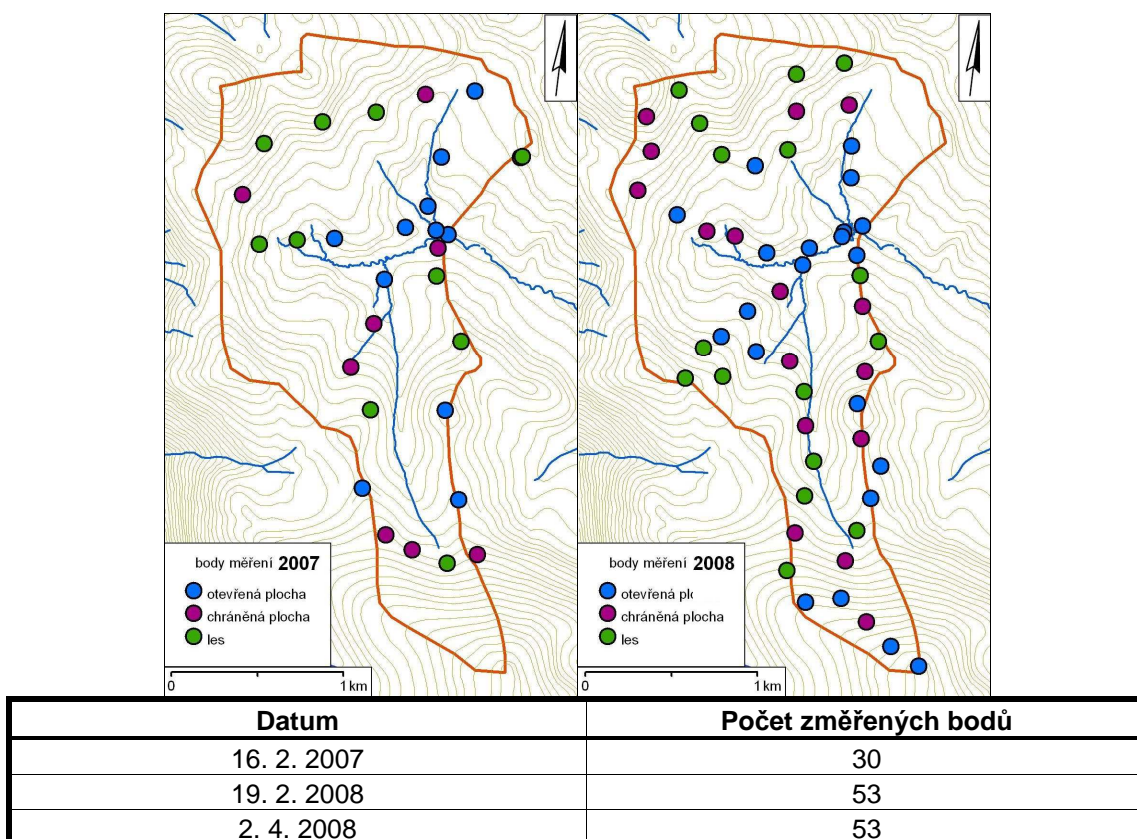
**Hmotnost** byla měřena digitální závěsnou váhou s výrobcem udávanou přesností  $\pm 2$  g. Jedná se o hmotnost včetně samotného sněhoměru. Bylo tedy důležité zaznamenat hmotnost prázdného sněhoměru, se kterým měření probíhalo, a při zpracování dat tuto hmotnost odečíst k získání hmotnosti samotného vzorku sněhu

#### 4.2.2 Rozsah a termíny měření

V zimě 2007 se uskutečnila jedna sněhoměrná kampaň v polovině února. V zimě 2008 proběhly měření dvě. První v druhé polovině února a druhé na začátku dubna, kdy se podařilo vystihnout dobu těsně před nástupem jarního tání v povodí Rokytky.

V roce 2007 byly odběry provedeny na 30 lokalitách. V roce 2008 bylo rozšířeno pokrytí povodí o další body. Dubnové měření v roce 2008 přitom probíhalo na stejných lokalitách jako v únoru 2008. Polohy jednotlivých odběrových míst byly dohledány pomocí přístroje GPS. To sice neumožnilo provést odběr na zcela identických místech pro přesné porovnání změny, ale s dostatečnou přesností pro odběr vzorku sněhu ve stejné lokalitě s možnou chybou cca 10–15 m. Jednotlivá místa odběrů si rovněž měřiči často pamatovali. Přehled měření v terénu přináší obr. 15.

*Obr. 15: Rozsah a termíny měření*





### 4.2.3 Chyby měření

Jak již bylo naznačeno, hlavním momentem ovlivňujícím kvalitu měření je především výběr konkrétního místa odběru.

Možné chyby v určování samotné SVH jsou následující. Při použití sněhoměru může dojít k situaci, kdy je při zasouvání odběrného válce sníh hrnut mimo, nedojde tak k odebrání celého vzorku a naměřená hodnota je nižší. Na tento problém upozorňuje např. Němec (2006). Odběr je tedy nutno provádět opatrně a pomalu. Dále může být odběr velice znesnadněn pokud ve sněhové pokrývce došlo následkem oblev k vytvoření umrznutých zledovatělých vrstev. Ty je nutné prorážet značnou silou a tento necitlivý přístup může opět negativně ovlivnit kvalitu odebraného vzorku.

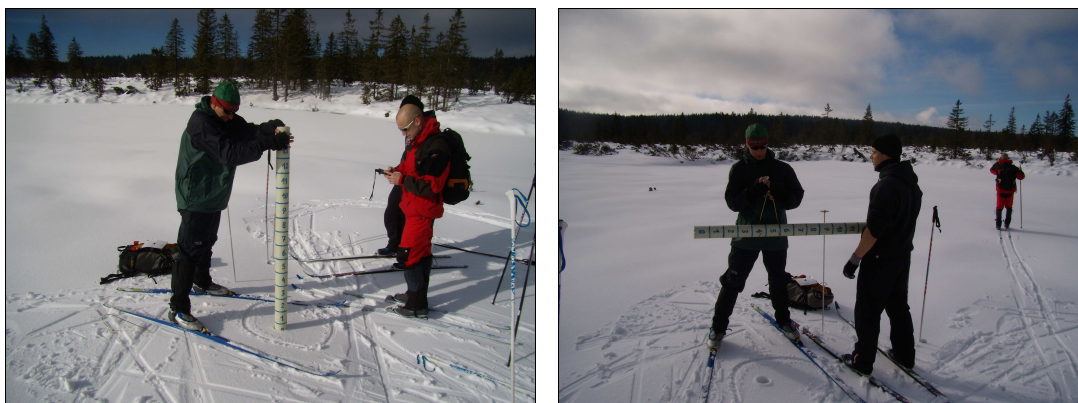
Přesnost vážení vzorku je dána zejména přesností použité váhy. Při měření byly použity digitální závěsné váhy s výrobcem udanou přesností  $\pm 2$  g. V praxi docházelo i situacím, kdy při opakovaném měření téhož vzorku byly naměřeny rozdílné hmotnosti výjimečně až  $\pm 10$  g. To u použitého sněhoměru odpovídá vodní hodnotě 2 mm, což představuje zcela zanedbatelnou chybu v porovnání s ostatními faktory ovlivňujícími kvalitu měření.

### 4.2.4 Zpracování dat

Souřadnice měřených bodů (včetně údaje o nadmořské výšce) byly vyexportovány z přístrojů GPS ve formátu .txt. a následně převedeny do formátu .dbf pro vytvoření bodové vrstvy ve formátu shapefile v prostředí ArcGIS. Následně došlo ke sjednocení souřadného systému s ostatními podkladovými vrstvami. Souřadnice z přístrojů GPS tak byly transformovány ze systému WGS-84 do S-JTSK.

V programu MS Excel byla přepisem rukou psaných záznamů z měření vytvořena databáze se sledovanými charakteristikami. Proběhl přepočet údajů o hmotnosti odebraných vzorků na vodní hodnotu sněhu v mm a výpočet relativní vodní hodnoty. Takto upravená databáze byla v prostředí ArcGIS propojena pomocí identifikačního kódu s bodovou vrstvou měření, a vznikly tak výsledné vrstvy ve formátu shapefile pro jednotlivé sněhoměrné kampaně, které v příslušných atributových tabulkách obsahují měřené a zaznamenávané charakteristiky.

*Obr. 16: Měření prováděné u největšího jezírka Rokyteckých slatí*

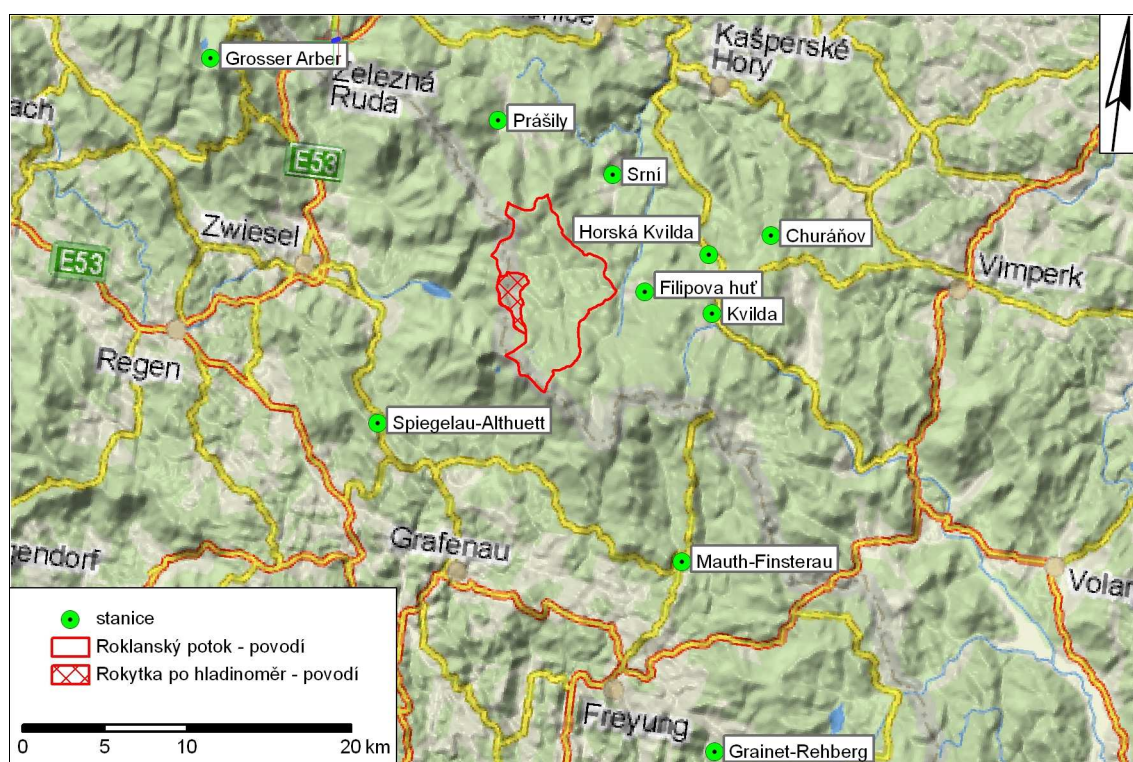


*Foto: Pavel Hladík*

### 4.3 Data z meteorologických stanic

Pro možnost porovnání vlastních měření charakteristik sněhové pokrývky s údaji dostupnými ze staničního měření bylo požádáno o poskytnutí vybraných dat z měření relevantních meteorologických stanic nacházejících se v okolí zájmové oblasti. Tato data rovněž sloužila pro analýzu srážkové činnosti ve zkoumaném období a pro potřeby zhodnocení časové variability charakteristik sněhové pokrývky, kterou nelze postihnout nárazovými sněhoměrnými kampaněmi. Polohu vybraných stanic je možné sledovat na mapě (obr. 17).

*Obr. 17: Poloha vybraných meteorologických stanic*



*Zdroj: mapový podklad <www.mapy.cz>, souřadnice stanic poskytl ČHMÚ a DWD, zpracování autor*

#### 4.3.1 Data ze staniční sítě ČHMÚ

Nejdříve byla o poskytnutí dat požádána českobudějovická pobočka ČHMÚ. S jejím pracovníkem bylo vytypováno období v obou zimních sezonách, kdy se na uvažovaných stanicích vyskytovala sněhová pokrývky. Pro obě sezony byl nakonec zvolen kalendářní rozsah požadovaných dat od 1. 11. do 30. 4. (2006/7 a 2007/8).

Data poskytnutá ČHMÚ pocházejí z šesti klimatologických a srážkoměrných stanic. S ohledem na typ meteorologické stanice se pro zvolené období jedná o:

- SCE – celková výška sněhové pokrývky měřená v denním kroku ve standardním termínu
- SRA – denní úhrn srážek měřený ve standardním termínu
- SVH – vodní hodnota sněhu měřená s týdenním krokem každé pondělí

- T – průměrná denní teplota vzduchu

Data byla poskytnuta v logicky uspořádaném souboru ve formátu .xls a nemusela být před dalším použitím dále upravována.

#### 4.3.2 Data ze staniční sítě DWD

Pro zachycení situace na návětrné straně Šumavy byla rovněž požádána o poskytnutí dat německá Deutscher Wetterdienst (DWD). Data ze čtyř vybraných stanic DWD byla poskytnuta pro stejné časové období jako ta z ČHMÚ, tedy od 1. 11. do 30. 4. v sezonách 2006/7 a 2007/8.

Na rozdíl od ČHMÚ není vodní hodnota sněhu měřena na všech srážkoměrných stanicích. Údaje o vodní hodnotě tak pocházejí pouze ze dvou klimatologických stanic. Vodní hodnota sněhu není na německých stanicích měřena v pravidelných intervalech, ale obecně několikrát týdně, tedy častěji než na českých stanicích. Ostatní charakteristiky měření vybraných prvků jsou shodné.

DWD poskytla data formou exportu databázového vyhledávání v řadě souborů. Pro jejich další použití tedy bylo nejdříve nutné propojit záhlaví jednotlivých stanic a charakteristik s vlastními měřenými hodnotami pro příslušná období. Tato operace proběhla v programu MS Excel.

Celkový přehled zahrnutých meteorologických stanic ČHMÚ a DWD spolu se základními údaji a přehledem poskytnutých dat je možné sledovat v následujícím přehledu (tab. 8).

*Tab. 8: Přehled vybraných meteorologických stanic a poskytnutých dat*

Stanice	Typ	m n. m.	Vzdálenost [km]	Poskytnutá data	Provozovatel
Churáňov	k	1118	15,5	SCE, SRA, SVH, T	ČHMÚ
Filipova Huť	s	1102	7,5	SCE, SRA, SVH	ČHMÚ
Horská Kvilda	k	1048	11,5	SCE, SRA, T	ČHMÚ
Kvilda	s	1062	11,5	SCE, SRA, SVH	ČHMÚ
Prášily	s	880	10,5	SCE, SRA, SVH	ČHMÚ
Srní	s	857	9	SCE, SRA, SVH	ČHMÚ
Grosser Arber	k	1436	23,5	SCE, SRA, SVH, T	DWD
Grainet-Rehberg	k	628	30	SCE, SRA, SVH, T	DWD
Spiegelau-Althütte	s	808	12	SRA	DWD
Mauth-Finsterau	s	1004	19	SRA	DWD

*Typ (k – klimatologická, s – srážkoměrná), Vzdálenost je vztažena k hladinoměru Rokytka, SCE – celková výška sněhu, SRA – denní úhrn srážek, SVH – vodní hodnota sněhu, T – průměrná denní teplota vzduchu*

*Zdroj: souřadnice stanic poskytl ČHMÚ a DWD, vzdálenosti změřeny v prostředí GIS*



---

## 5 ANALÝZA AKUMULACE A TÁNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY

Následující kapitola přináší výslednou analýzu akumulace a tání sněhové pokrývky ve vybraném období zimních sezon 2006/7 a 2007/8. Nejdříve bude provedeno vyhodnocení srážkové činnosti na vybraných meteorologických stanicích a odvozen vhodný způsob mechanismu odhadu množství srážek pro zkoumané povodí. Následně bude provedena analýza sněhoměrných kampaní, které proběhly v povodí Rokytky a vyhodnocení množství vody akumulované ve sněhové pokrývce. Na základě odtoku zaznamenaného hladinoměrnou stanicí bude v obou sezonách identifikováno období jarního tání sněhové pokrývky a bude provedeno srovnání výsledků dílčích analýz.

### 5.1 Odhad srážkových úhrnů

Pro sledování chodu srážek byly k dispozici řady denních úhrnů z 10 vybraných meteorologických stanic pro každou sezonu vždy za období listopad–prosinec. Snahou tedy bylo tato data využít i ke sledování chodu srážek v zájmovém povodí Rokytky. Současně s hladinoměrem je na stejném místě instalován i srážkoměr, který ovšem není vyhříváný a pro zkoumané období z něj byla k dispozici pouze data od 1. 11. 2006 do 22. 1. 2007.

#### 5.1.1 Porovnání návětrné a závětrné strany Šumavy

Na grafech (obr. 18 a obr. 19) lze sledovat závislost srážkových úhrnů vždy za půlroční období vymezené rozsahem dat poskytnutých ČHMÚ a DWD. Levá část grafu je vymezena pro německé stanice, jejichž poloha má z hlediska pohoří Šumavy charakter návětrné strany a v pravé části grafu sledujeme české „závětrné“ stanice. Z důvodu přehlednosti je sledovaná závislá proměnná (úhrn srážek) nestandardně umístěna na vodorovné ose. To umožňuje jednoduché porovnání nadmořské výšky stanic. Na první pohled je patrná silná závislost srážkových úhrnů na nadmořské výšce u stanic na návětrné straně. U českých stanic jsou srážkové úhrny ve srovnatelných výškových hladinách obecně nižší a trend nárůstu množství srážek s výškou nelze sledovat. Naopak v obou obdobích bylo na nejvýše položené stanici na české straně Šumavy – Churáňově, naměřeno nejmenší množství srážek. Srážkově se jedná o evidentně zcela odlišné oblasti. Na české straně lze sledovat převážně západovýchodní gradient. U množství srážek tak lze sledovat spíše závislost na horizontální poloze vůči hlavnímu hřebenu Šumavy.

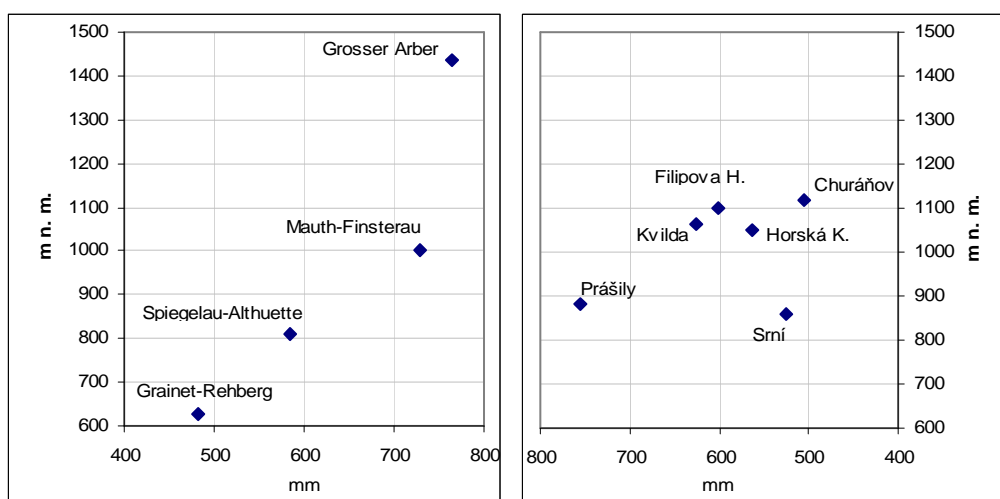
Takovéto pojetí je platné při obvyklém převládajícím směru proudění ze západu a jihozápadu. Zcela odlišné může být rozložení srážkového pole při proudění z jiných směrů.

Poměrně specifickou se jeví stanice Prášily, která v obou sezonách zaznamenala z českých stanic nejvyšší srážkový úhrn, který byl v sezoně 2006/7 dokonce srovnatelný se stanicí Grosser Arber, která leží o více než 500 výškových metrů výše.

Z grafu dále vyplývá, že ač se srážkové úhrny na stanicích v obou sezonách liší v absolutním množství, tak jejich vzájemná relativní poloha zůstává srovnatelná. Úhrny srážek byly na všech stanicích v sezoně 2007/8 vyšší, a to v průměru o 30 %.

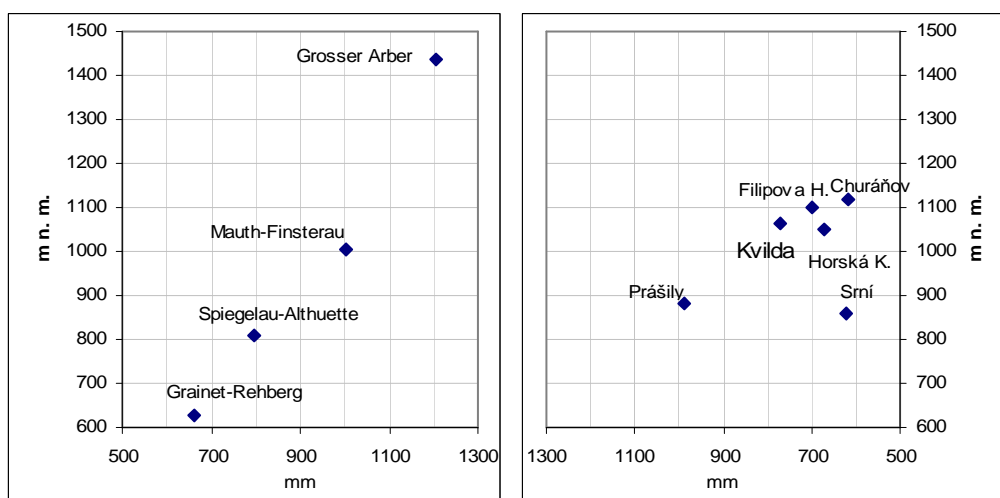
Povodí Rokytky lze z hlediska polohy přiřadit jednoznačně k západní návětrné části. Z tohoto důvodu by postrádala smysl plošná interpolace srážek se zahrnutím všech stanic, kterou by v prostředí GIS bylo možné jednoduše provést i se zohledněním vlivu trendu nadmořské výšky. Závětrné stanice by takovou interpolaci značně zkreslovaly. K odhadu srážkových úhrnů pro povodí Rokytky tak bylo použito jiného postupu.

**Obr. 18: Srážkové úhrny vybraných stanic za období 1. 11. 2006 – 30. 4. 2007**



*Zdroj: dat ČHMÚ a DWD, zpracování autor*

**Obr. 19: Srážkové úhrny vybraných stanic za období 1. 11. 2007 – 30. 4. 2008**



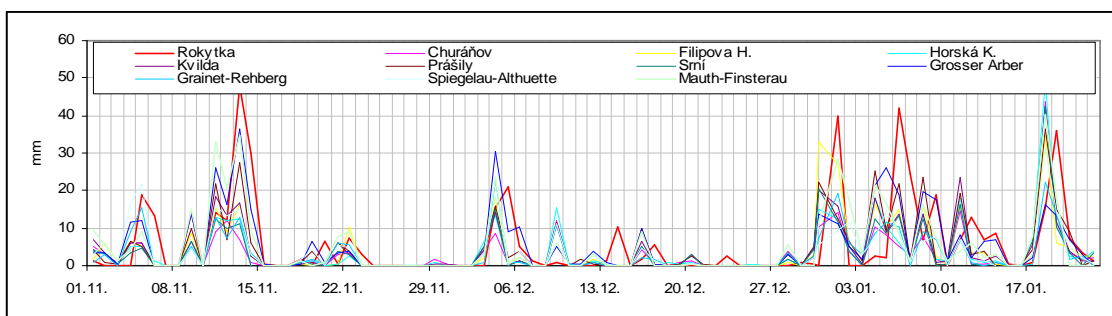
*Zdroj: data ČHMÚ a DWD, zpracování autor*

### 5.1.2 Postup odvození srážkových úhrnů pro povodí Rokytky

Pro odvození srážkových úhrnů spadlých na povodí Rokytky z dostupných dat bylo použito následujícího postupu, který zohledňuje především vliv nadmořské výšky.

Nejdříve byla provedena analýza denních srážkových úhrnů pro období od 1.11. 2006 do 22.1. 2007, kdy byla k dispozici data jak ze staniční sítě, tak z měření srážkoměru umístěného u hladinoměru na Rokytcce. Chod srážek v daném období (pro jasnou identifikaci bude dále nazýváno jako kalibrační období) je možné sledovat v následujícím grafu (obr. 20).

**Obr. 20: Porovnání denních úhrnů srážek v období 1. 11. 2006 – 22. 1. 2007.**



*Zdroj: data ČHMÚ, DWD a PrF UK*

V kalibračním období byl nejvyšší celkový úhrn srážek zaznamenán právě srážkoměrem na Rokytcce. V programu MS Excel byl vypočítán koeficient korelace mezi datovou řadou denních úhrnů srážek z tohoto srážkoměru a ostatních stanic (tab. 9). Koeficienty korelace pouze potvrzují předpoklad, že srážkový režim v povodí Rokytky je daleko bližší návětrným německým stanicím, než těm na české straně Šumavy. Nejpodobnější chod srážek v kalibračním období vykazovala stanice Grosser Arber. Ta se přitom v celé sezoně 2006/7 poněkud odchylovala od převládajícího trendu závislosti úhrnů srážek na nadmořské výšce na návětrné straně. Jak je patrné z grafu (obr. 18), celkový úhrn byl výrazně nižší, než by se dalo očekávat z trendu zbývajících tří německých stanic. Na Rokytcce tak byl úhrn v kalibračním období o téměř 40 mm vyšší než na stanici Grosser Arber, která se nachází o více než 300 m výše.

**Tab. 9: Porovnání srážkových úhrnů na vybraných stanicích v období 1. 11. 2006 – 22. 1. 2007**

Stanice	m n. m.	Srážkový úhrn	Koeficient korelace
Rokytkka	1095	476	–
Churáňov	1118	256	0,37
Filipova H.	1102	336	0,46
Horská K.	1048	297	0,34
Kvilda	1062	337	0,44
Prášily	880	384	0,52
Srní	857	278	0,38
Grosser Arber	1436	437	0,63
Grainet-Rehberg	628	265	0,59
Spiegelau-Althütte	808	314	0,47
Mauth-Finsterau	1004	428	0,58

Při dalším postupu byly pro svůj návětrný charakter uvažovány pouze německé stanice a srážkoměr přímo na Rokytce.

Stanice Grosser Arber sice vykazovala nejlepší korelaci s denním chodem srážek na Rokytce, ale vymykala se z lineárního trendu vlivu nadmořské výšky (obr. 21). Nebyla tedy do výpočtu trendu zahrnuta a místo ní byla vytvořena datová řada fiktivní stanice Grososser Arber, které byly srážkové úhrny uměle navýšeny přepočetním koeficientem tak, aby celkový srážkový úhrn v kalibračním období odpovídal lineárnímu trendu ostatních stanic. V reálu to představovalo navýšení jednotlivých denních úhrnů přibližně o 44 %.

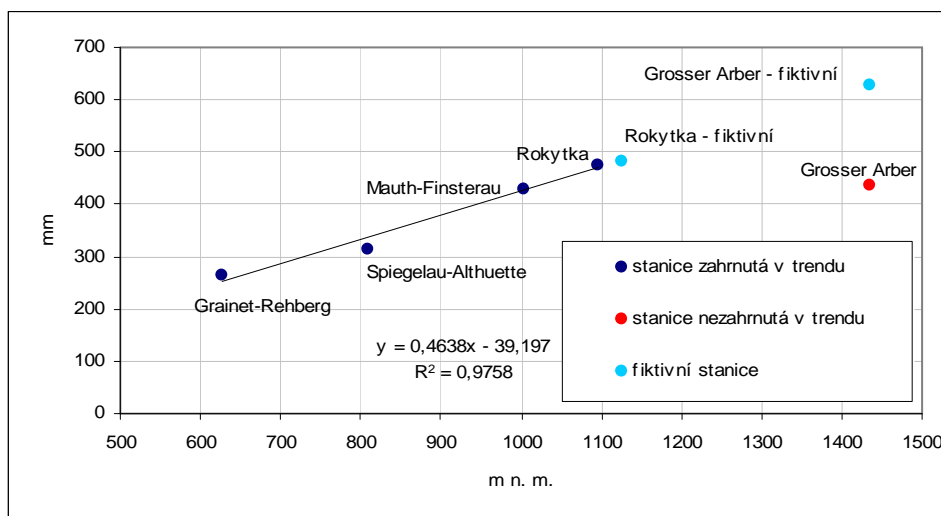
Povodí Rokytka pak má za úkol reprezentovat další fiktivní stanice. Ta je pomyslně umístěna ve výšce 1125 m n. m., což odpovídá průměrné nadmořské výšce zkoumaného povodí, a té zároveň odpovídá i celkový úhrn srážek určený rovnicí uvažovaného lineárního trendu nadmořské výšky. Datová řada denních úhrnů srážek fiktivní stanice Rokytka vznikla jako průměr denních úhrnů stanic Grosser Arber a Mauth-Finsterau přepočítaných příslušnými koeficienty odvozenými z rovnice uvažovaného trendu tak, aby odpovídali nadmořské výšce fiktivní stanice Rokytka. Výpočet tedy proběhl podle následujícího vzorce:

$$SRA_{\text{Rokytka - fiktivní}} = (1,08 \cdot SRA_{\text{Grosser Arber}} + 1,11 \cdot SRA_{\text{Mauth-Finsterau}}) / 2$$

kde SRA je příslušný denní srážkový úhrn (koeficienty jsou zde zaokrouhleny).

Stanice Grosser Arber a Mauth-Finsterau byly vybrány z několika důvodů. Obě vykazovaly v porovnání s ostatními stanicemi nejvyšší koeficienty korelace s reálným měřením srážek na Rokytce. Jejich nadmořská výška (1004 a 1436 m n. m.) se nejvíce přibližuje podmínkám Rokytky. Povodí Rokytka se nachází na pomyslné spojnici těchto dvou stanic v přibližně stejné vzdálenosti a navíc je tato spojnice rovnoběžná s osou pohoří Šumavy. Předpoklad vhodnosti použití datových řad těchto dvou stanic tak do jisté míry představuje prostorový rozměr odvození srážkových úhrnů pro povodí Rokytka.

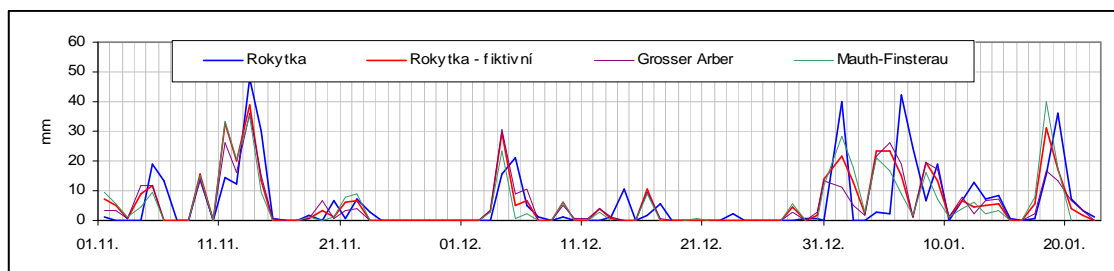
**Obr. 21: Odvození srážkových úhrnů pro povodí Rokytka v sezoně 2006/7**



Pozn.: Na základě dat z období 1. 11. 2006 – 22. 1. 2007

Chod srážek v kalibračním období, kde lze porovnat skutečně naměřené hodnoty srážkoměrem na Rokytce s odvozenými hodnotami pro fiktivní stanici Rokytka, přináší obr. 22. Doplněny jsou i chody srážek pro stanice Mauth-Finsterau a Grosser Arber, z jejichž měření fiktivní datová řada vychází. Koeficient korelace mezi skutečným a odvozeným chodem srážek na Rokytce je 0,63 a je nepatrně vyšší než u korelace se samotnou stanicí Grosser Arber

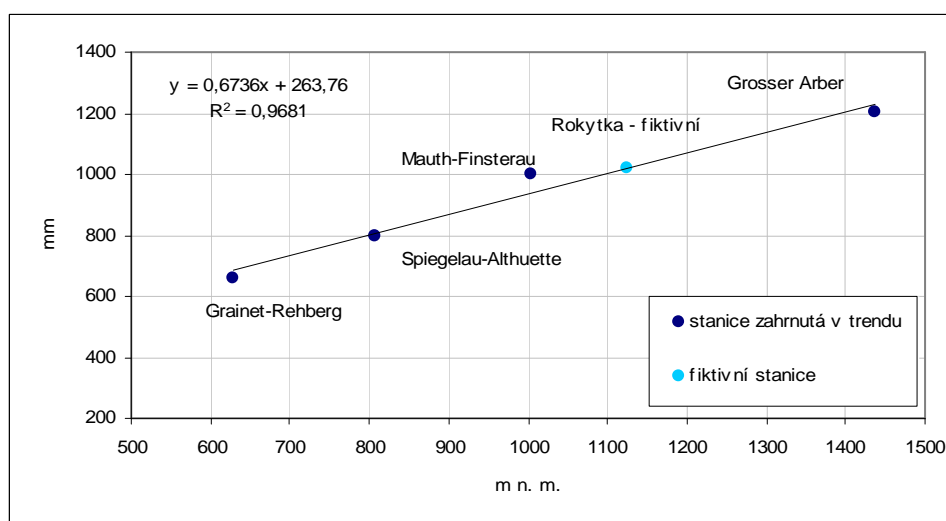
**Obr. 22: Odvozený chod srážek v kalibračním období**



Odvozený vzorec s přepočtenými koeficienty byl následně aplikován i na zbytek datové řady od 23. 1. 2007 do 30. 4. 2007, kdy již srážkoměr na Rokytce nebyl v provozu. Vznikla tak kompletní datová řada fiktivní srážkoměrné stanice Rokytka pro období od 1. 11. 2006 do 30. 4. 2007.

Pro sezonu 2007/8 již nebylo k dispozici žádné měření srážkoměru na Rokytce, které by šlo srovnat s poskytnutými daty z okolních meteorologických stanic. Srážky v této sezoně tak byly odvozeny pouze za použití dat ze stanic německé DWD. V sezoně 2007/8 je možné ve zkoumaném období opět sledovat silnou závislost srážkových úhrnů na nadmořské výšce (obr. 23). Na rozdíl od sezony 2006/2007 se nevymyká ani stanice Grosser Arber. Odvození dat pro povodí Rokytky tak proběhlo následovně.

**Obr. 23: Odvození srážkových úhrnů pro povodí Rokytky v sezoně 2007/8**



*Pozn.: Na základě dat z období 1. 11. 2007 – 30. 4. 2008*

Opět byla vytvořena fiktivní srážkoměrná stanice Rokytka ve výšce 1125 m n. m. Její celkový srážkový úhrn za uvažované období přitom odpovídal lineárnímu trendu reálných čtyř německých stanic. Denní srážkové úhrny byly následně spočteny opět jako průměr z měření na stanicích Grosser Arber a Mauth-Finsterau, s připočtením vlivu trendu nadmořské výšky příslušnými koeficienty:

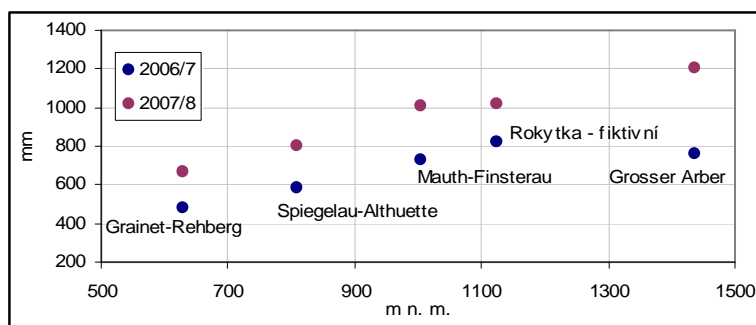
$$SRA_{\text{Rokytka - fiktivní}} = (0,85 \cdot SRA_{\text{Grosser Arber}} + 1,02 \cdot SRA_{\text{Mauth-Finsterau}}) / 2$$

kde SRA je příslušný denní srážkový úhrn (koeficienty jsou zde zaokrouhleny).

Tímto způsobem vznikla kompletní datová řada denních srážkových úhrnů pro fiktivní srážkoměrnou stanici Rokytka pro období od 1. 11. 2007 do 30. 4. 2008.

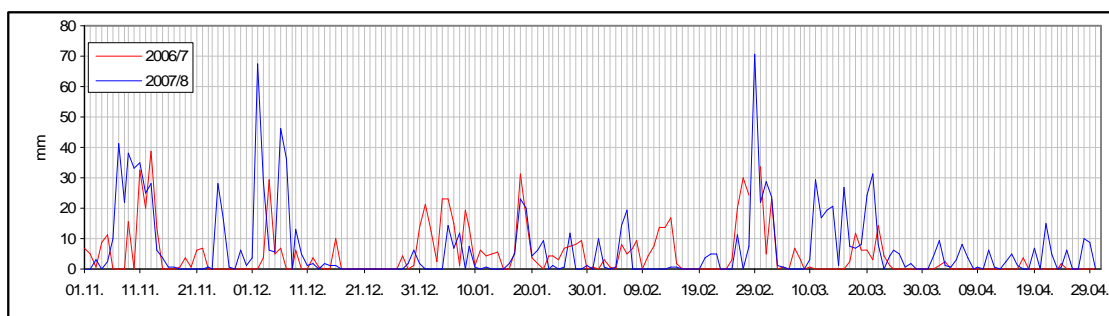
Z pohledu srážek je tak povodí Rokytky v této práci v obou sezonách reprezentováno pomocí fiktivní srážkoměrné stanice Rokytka. Porovnání jejího postavení s ostatními reálnými stanicemi na návětrné straně Šumavy v rámci celkových srážkových úhrnů v obou sledovaných sezonách přináší obr. 24. Na obr. 25 jsou vykresleny výsledné datové řady odvozených srážkových úhrnů pro fiktivní stanici Rokytka pro obě sledované sezony.

**Obr. 24: Srážkové úhrny vybraných stanic v jednotlivých sezonách**



Pozn.: v obou sezonách za období listopad–duben

**Obr. 25: Odvozený chod srážek na fiktivní stanici Rokytka**



Pozn.: rok 2008 je přestupný, pro 29. 2. 2007 údaj pochopitelně chybí

## 5.2 Chod teploty vzduchu ve sledovaných sezonách

Pro proces akumulace a tání sněhu je teplota vzduchu významným faktorem, jež ovlivňuje všechny fáze výskytu sněhové pokrývky. Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, stanice na Rokytce měří kromě výšky hladiny a srážek i teplotu vzduchu. Nestandardní podmínky měření však vyžadovaly kontrolu této datové řady. Ta proběhla následovně.

Pro obě sezony byl vypočten korelační koeficient mezi chodem průměrných denních teplot měřených na Rokytce se všemi čtyřmi stanicemi, ke kterým byl údaj o průměrné denní teplotě dostupný, jak ukazuje tab. 10. Tabulka rovněž ukazuje celkovou průměrnou teplotu za půlroční období poskytnutých dat (listopad – duben).

**Tab. 10: Srovnání měření teploty vzduchu v sezonách 2006/7 a 2007/8**

Stanice	m n. m.	2006/7		2007/8	
		t	korel. koef.	t	korel. koef.
Rokytká	1095	1,76	–	-0,96	–
Churáňov	1118	2,16	0,90	-0,18	0,77
Horská K.	1048	-0,07	0,88	-1,81	0,92
Grosser Arber	1436	0,79	0,84	-1,60	0,57
Grainet-Rehberg	628	4,52	0,96	1,90	0,91

**Pozn.: t – průměrná teplota vzduchu vždy za celé období listopad – duben**

Chod průměrných denních teplot na Rokytce vykazuje vysokou míru korelace s chodem na sledovaných stanicích. Možná překvapivě koreluje nejvíce s německou stanicí Grainet-Rehberg, která je ze všech stanic nejvzdálenější a je umístěna v nejnižší nadmořské výšce. Silná je však i korelace se stanicí Horská Kvilda, která je naopak ze sledovaných stanic Rokytce nejbližší. Z hlediska relativního chodu průměrných denních teplot se tedy zdá, že měření teploty vzduchu čidlem hladinoměru je v rozumné míře důvěryhodné a může tedy reprezentovat samotné povodí Rokytky.

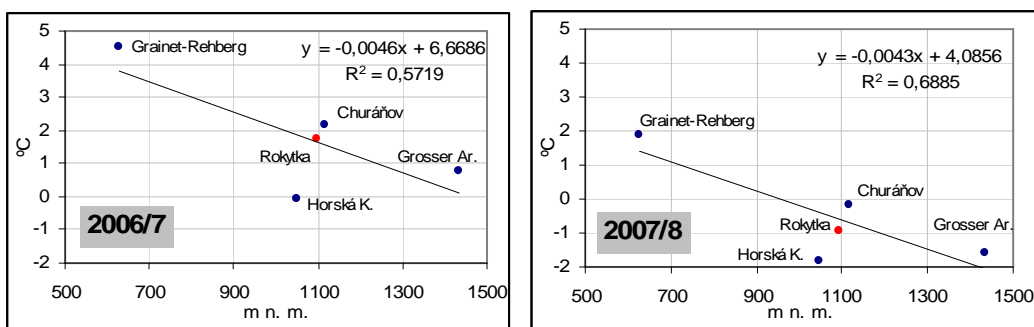
Kontrola absolutních hodnot měřeného prvku (teploty vzduchu) je výrazně obtížnější. Pro obě sezony byly vypočteny průměrné teploty vzduchu na vybraných stanicích vždy za celé půlroční období. Následně byla provedena analýza obecně známé silné závislosti poklesu teploty s růstem nadmořské výšky. To je možné sledovat v grafu (obr. 26). Na první pohled je patrná tato téměř dokonalá závislost u stanic Grainet-Rehberg, Grosser Arber a Churáňov. Křivka trendu je v obou sezonách posunuta díky stanici Horská Kvilda, na které jsou měřeny znatelně nižší teploty než by odpovídalo její nadmořské výšce. To je ovšem obecně známý fakt daný její polohou v prostoru Šumavských plání, kde jsou často měřeny nižší teploty vzduchu než na vrcholových dobře větraných polohách.

Stanice Rokytka je z tohoto pohledu poměrně indiferentní. Nelze ji zařadit ani k vysloveně vrcholovému typu stanice jako je Churáňov či Grosser Arber, ale přeci jen má její okolí výrazně otevřenější charakter umožňující snadnější výměnu vzduchových hmot, než je tomu u stanice Horská Kvilda. Tomuto předpokladu by odpovídalo i postavení stanice Rokytka ve výšce

zmiňovaném grafu. Obecně tedy byly měřeny nižší teploty než by odpovídalo nadmořské výšce stanice, ale tento posun není tak výrazný jako u stanice Horská Kvilda.

Na základě zjištěných skutečností je možné se přiklonit k tvrzení, že průměrné denní teploty odvozené z měření na stanici Rokytky je možné chápat jako reprezentativní pro zkoumané území, neboť se zkoumaná datová řada nevymyká předpokládanému průběhu a nevykazuje „podezřelé“ údaje. Je přitom stále ale nutno mít na zřeteli nestandardní způsob měření a nemít tedy ve výstupní data teplotního čidla hladinoměru nekritickou důvěru.

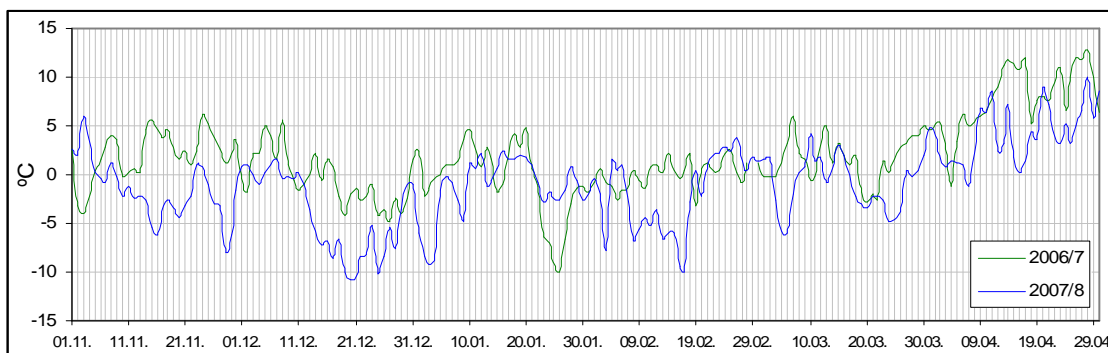
**Obr. 26: Závislost průměrných teplot vzduchu na nadmořské výšce ve sledovaném období**



**Pozn.: stanice Rokytky není do výpočtu trendu zahrnuta! Platí vždy pro období listopad–duben.**  
Zdroj: data ČHMÚ, DWD aPřF UK,

Chod průměrných denních teplot na stanici Rokytky v obou sezonách je možné sledovat na následujícím grafu (obr. 27). Jak je patrné i z celkových průměrů teplot, sezona 2006/7 byla přibližně o 2 °C teplejší než sezona následující. Od listopadu 2006 do více než poloviny ledna 2007 byly teploty vzduchu na takto vysokou polohu nezvykle vysoké. To mimo jiné umožnilo i provoz zmiňovaného srážkoměru na Rokytkce. Sezona 2007/8 byla z pohledu možnosti akumulace sněhové pokrývky teplotně výrazně příznivější.

**Obr. 27: Chod průměrných denních teplot vzduchu na Rokytkce ve sledovaných obdobích**



Zdroj: data PřF UK



---

### 5.3 Porovnání časové variability výskytu sněhové pokrývky

Pro ilustraci vývoje sněhové pokrývky v jednotlivých sezonách, kterou nemohou postihnout jednorázová měření prováděna v povodí Rokytky, byly vybrány všechny stanice s nadmořskou výškou přes 1000 m n. m. České stanice se přitom nacházejí ve srovnatelné nadmořské výšce od 1048 do 1118 m n. m. Německá stanice Grosser Arber se nachází výrazně výše ve 1436 m n. m. a navíc jak již bylo ukázáno má díky své poloze na návětrné straně Šumavy výrazně vyšší srážkové úhrny.

V grafech (obr. 28 a obr. 29) lze sledovat vývoj charakteristik sněhové pokrývky (celkovou výšku a vodní hodnotu) pro obě zkoumané sezony. Na první pohled je patrný výrazný rozdíl v obou sezonách. Souvislá sněhová pokrývka se sice začala vyskytovat přibližně ve stejnou dobu, na začátku listopadu, ale další průběh byl již rozdílný jak co do relativního rozložení, tak co do absolutních hodnot sledovaných prvků.

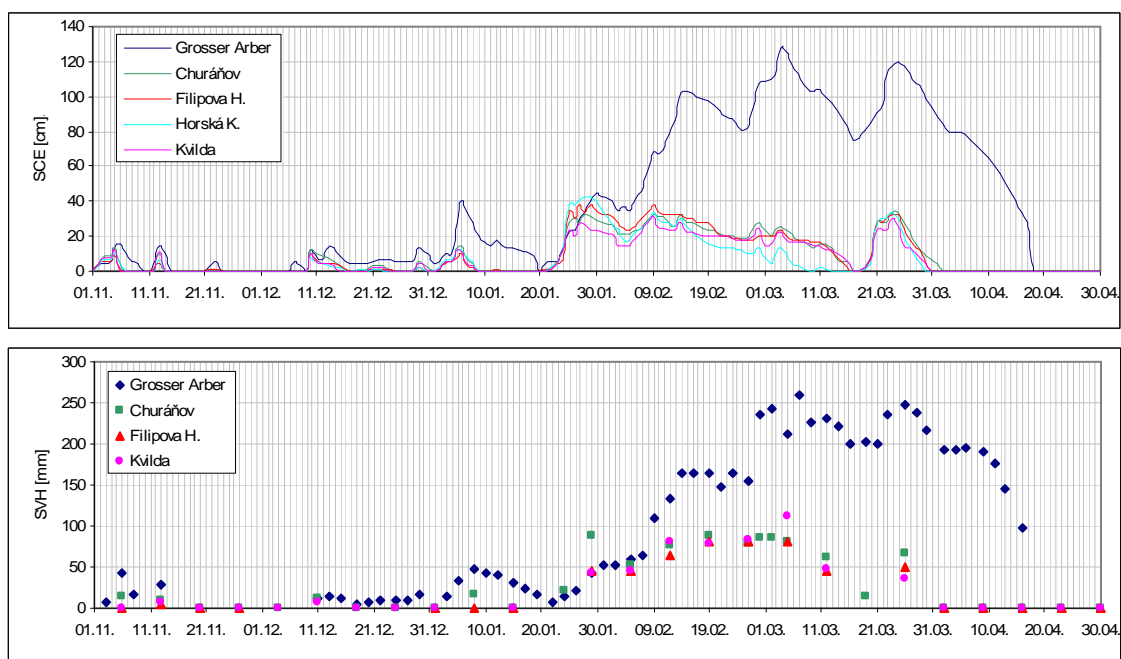
V sezoně 2006/7 převládalo v měsíci listopadu a prosinci relativně teplé počasí, které nebylo příznivé pro tvorbu sněhové pokrývky. Srážek byl přitom dostatek, ale ty epizodicky spadlé ve formě sněhu rychle odtávaly. S poklesem průměrných teplot se zejména od druhé poloviny ledna začala na sledovaných stanicích vytvářet výraznější sněhová pokrývka, která vydržela na českých stanicích přibližně do poloviny března. Poté došlo na krátkou dobu k opětovnému vytvoření souvislé sněhové pokrývky, která svými parametry dosahovala téměř stejných hodnot jako při maximální akumulaci na přelomu ledna a února. Výrazně odlišný průběh bylo možné sledovat na německé stanici Grosser Arber. Tamější měření vykazuje zpočátku sezony podobný nevýrazný chod jako na české straně. Po poklesu teplot v druhé polovině ledna se však začal akumulovat sníh na stanici Grosser Arber daleko výrazněji. a při maximálním zasněžení na začátku března dosahovala jak vodní hodnota, tak výška sněhu více než dvojnásobných hodnot ve srovnání s českými stanicemi. Porovnání grafů jasně demonstrovuje, že jak na Grosser Arber, tak na českých stanicích bylo dosaženo maxima vodní hodnoty na začátku března. Na rozdíl od Grosser Arber, kde zároveň kulminovalo i maximum výšky sněhové pokrývky, se na českých stanicích sněhová pokrývka nacházela již ve fázi odtávání. Vodní hodnotu zvyšovaly srážky spadlé ve formě deště. Odtávání sněhu skončilo na Grosser Arber přibližně o 20 dnů později než na českých stanicích. Celkově však zejména na českých stanicích byla zima 2006/7 z hlediska množství sněhu velice chudá.

Zcela odlišný průběh měla zimní sezona 2007/8. Sněhová pokrývka se sice začala vytvářet přibližně ve stejnou dobu jako v předchozím roce, ale udržela se ve vyrovnaném chodu po celou sezonu. Zima 2007/8 byla sice celkově sněhově výrazně bohatší, ovšem i tak se jednalo z dlouhodobého hlediska spíše o podprůměrnou zimu. Stanice Churáňov např. dosahuje průměrného maxima výšky sněhové pokrývky kolem 100 cm. V zimě 2007/8 to bylo 60 cm. Stejně jako v předchozím roce došlo v druhé polovině března k téměř úplnému odtání sněhové pokrývky (alespoň v lokalitě měření jednotlivých stanic), po kterém záhy následovala kratší epizoda se sněhovou pokrývkou, která definitivně odtála v druhé polovině dubna. Německá stanice Grosser Arber téměř po celou dobu opět vykazovala více než dvojnásobek hodnot

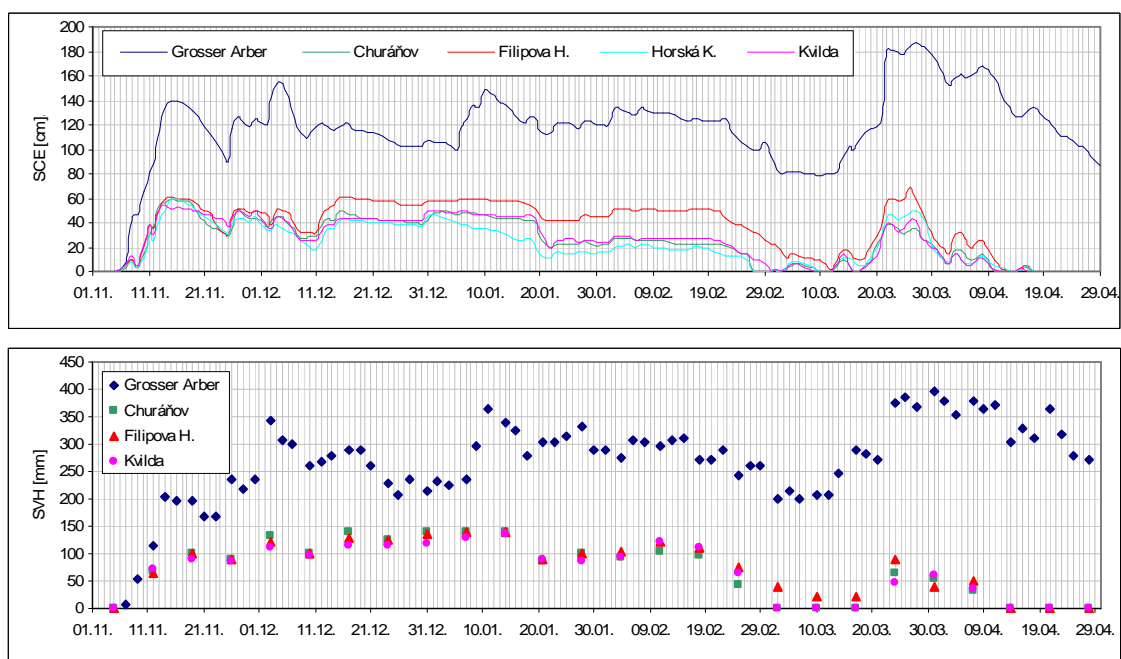
měřených českými stanicemi, jak u výšky sněhové pokrývky, tak její vodní hodnoty. Sněhová pokrývka se navíc udržela výrazně déle a její výskyt dokonce přesáhl časový rozsah poskytnutých dat.

Stejně jako u chodu srážek lze operovat s hypotézou, že výskyt a chod charakteristik sněhové pokrývky bude v povodí Rokytky daleko lépe korelovat s měřením na stanici Grosser Arber než s českými stanicemi. Tuto hypotézu by pak měly podpořit či vyvrátit výsledky sněhoměrných kampaní provedených v obou sezonách.

**Obr. 28: Vývoj charakteristik sněhové pokrývky v sezoně 2006/7**



**Obr. 29: Vývoj charakteristik sněhové pokrývky v sezoně 2007/8**



---

## 5.4 Vyhodnocení sněhoměrných kampaní v povodí Rokytky

### 5.4.1 Vyhodnocení měření v sezoně 2006/7

Jednodenní měřičská akce proběhla 16. 2. 2007. Při porovnání termínu měření s chodem charakteristik sněhové pokrývky měřených na stanicích zjistíme, že české stanice se již nacházely v poklesovém trendu výšky sněhové pokrývky i vodní hodnoty, zatímco stanice Grosser Arber teprve šla k dosažení sezonního maxima výšky a vodní hodnoty sněhu (viz obr. 28).

Během jednoho dne byla změřena výška sněhové pokrývky a vodní hodnota na 30 stanovištích rozprostřených po ploše povodí Rokytky. Výsledky měření zobrazuje série grafů (obr. 30). Poměrně překvapivě byly největší hodnoty vodního ekvivalentu naměřeny v nejnižší, spíše otevřené části povodí. Zároveň ale bylo v této oblasti dosaženo největší variability ve všech sledovaných parametrech. Patrný je obecný trend výskytu nižší vodní hodnoty v lesním prostředí. Zajímavá je rovněž neexistence signifikantního trendu nárůstu vodní hodnoty s nadmořskou výškou. Zde si je ale také nutné uvědomit poměrně malou výškovou členitost sledovaného povodí. Ze znalosti situace přímo v terénu i s ohledem na vyhodnocené výsledky se v zásadě potvrdil předpoklad, že nejvyšší vodní hodnota bude naměřena na stanovištích, která mají charakter otevřené plochy, ale zároveň jsou chráněna před působením větru – typově tedy na mýtinách a podobně. Poměrně nízkou variabilitu vykazuje údaj o relativní vodní hodnotě, který dosahoval v průměru hodnoty 35 %.

Pro odhad celkového množství vody akumulované ve sněhové pokrývce v povodí Rokytky byly použity interpolační techniky nabízené softwarem ArcGIS. Bez existence signifikantního trendu vlivu nadmořské výšky nebyl její vliv uvažován ani při interpolaci. Vzhledem k tomu, že stanoviště pro odběr vzorků byly z hlediska pokrytí vegetací vybírány tak, aby co nejlépe reprezentovaly okolí, byla provedena prostá interpolace za použití všech bodů měření bez ohledu na kategorii stanoviště (otevřená plocha, chráněná plocha, les). Rastrový interpolační výpočet tak proběhl pouze na základě vrstvy bodů měření. Interpolována byla měřená vodní hodnota. Postupně byla provedena interpolace za použití tří interpolačních algoritmů v prostředí GIS – spline, kriging a IDW. Všechny byly použity v defaultním nastavení softwaru ArcMap, s výstupním rastrem omezeným rozvodnicí Rokytky a výstupní velikostí pixelu  $10 \times 10$  m. Výsledkem jsou mapy rozložení vodní hodnoty na povodí Rokytky s udanou průměrnou hodnotou (obr. 31).

Jak je z map rozložení vodní hodnoty patrné, jednotlivé interpolační techniky se výrazně liší charakterem výsledného rozprostření interpolované veličiny, což je dáno podstatou jejich algoritmů. Z tohoto důvodu musela být rovněž zvolena nejednotná stupnice v legendě, neboť se u jednotlivých interpolačních technik výrazně liší způsob odhadu zejména v oblastech vně interpolované bodové sítě, kde u metody spline a kriging dochází i ke generaci hodnot mimo rozsah skutečných měření. V průměru ovšem bylo použitím všech tří interpolačních technik odhadnuto množství vody akumulované ve sněhu v povodí Rokytky v poměrně malém rozmezí hodnot od 173 do 182 mm. Jako výsledná hodnota byl uvažován průměr výsledků všech tří

metod. Pro 16. 2. 2007 tak bylo celkové množství vody ve sněhu (respektive její výška) v povodí Rokytky odhadnuto na 178 mm.

Zajímavá je konfrontace těchto výsledků se staničním měřením (tab. 11). Výška sněhu odpovídá datu provedeního měření v povodí Rokytky (16. 2. 2007). Vodní hodnota je však u českých stanic platná až pro nejbližší dostupný termín měření (19. 2. 2007). U stanice Grosser Arber je hodnota platná pro 16. 2.

Ze srovnání je opět patrný rozdíl mezi hodnotami měřenými na českých stanicích a na Grosser Arber, i s přihlédnutím k faktu, že stanice Grosser Arber je umístěna ve výrazně vyšší nadmořské výšce.

Průměrná vodní hodnota vypočtená pro povodí Rokytky (kterou můžeme vztáhnout k průměrné výšce povodí 1125 m n. m.) byla dokonce vyšší než ta měřená na stanici Grosser Arber. To by ovšem šlo vysvětlit celkově nižšími srážkovými úhrny měřenými na stanici Grosser Arber sezoně 2006/7, tak jak to bylo ukázáno v kap. 5.1.2. Maximální vodní hodnota pak byla v povodí Rokytky změřena ještě o 100 mm vyšší. Výška sněhové pokrývky však na Rokytce nedosahovala takových hodnot jako na Grosser Arber. To může být způsobeno především tím, že během teplejších epizod dopadaly na povodí Rokytky kapalně srážky, které způsobily větší intenzitu slehávání sněhu. U stanice Grosser Arber, která je v průměru o 300 výškových metrů výše, však mohlo jít ve velkém množství případů o sněžení.

O tom svědčí i fakt, že od 20. 1., kdy stanice Grosser Arber naposledy nezaznamenala výskyt sněhové pokrývky, činil celkový úhrn srážek do 16. 2. 147 mm. Vodní hodnota přitom byla naměřena 163 mm. To zaprvé ukazuje, že i hodnoty ze staničního měření prováděných na jednom místě nelze nekriticky přejímat jako naprosto přesná, ale že naprostá většina srážek se skutečně v tomto období akumulovala ve sněhové pokrývce. Za stejné období spadlo teoreticky na povodí Rokytky 140 mm srážek. Je přitom velice pravděpodobné, že i v období, kdy všechny stanice včetně Grosser Arber nevykazovaly výskyt souvislé sněhové pokrývky, v povodí Rokytky se stále držely zásoby sněhu na úrovni ekvivalentu v řádu 30 – 40 mm vodního sloupce.

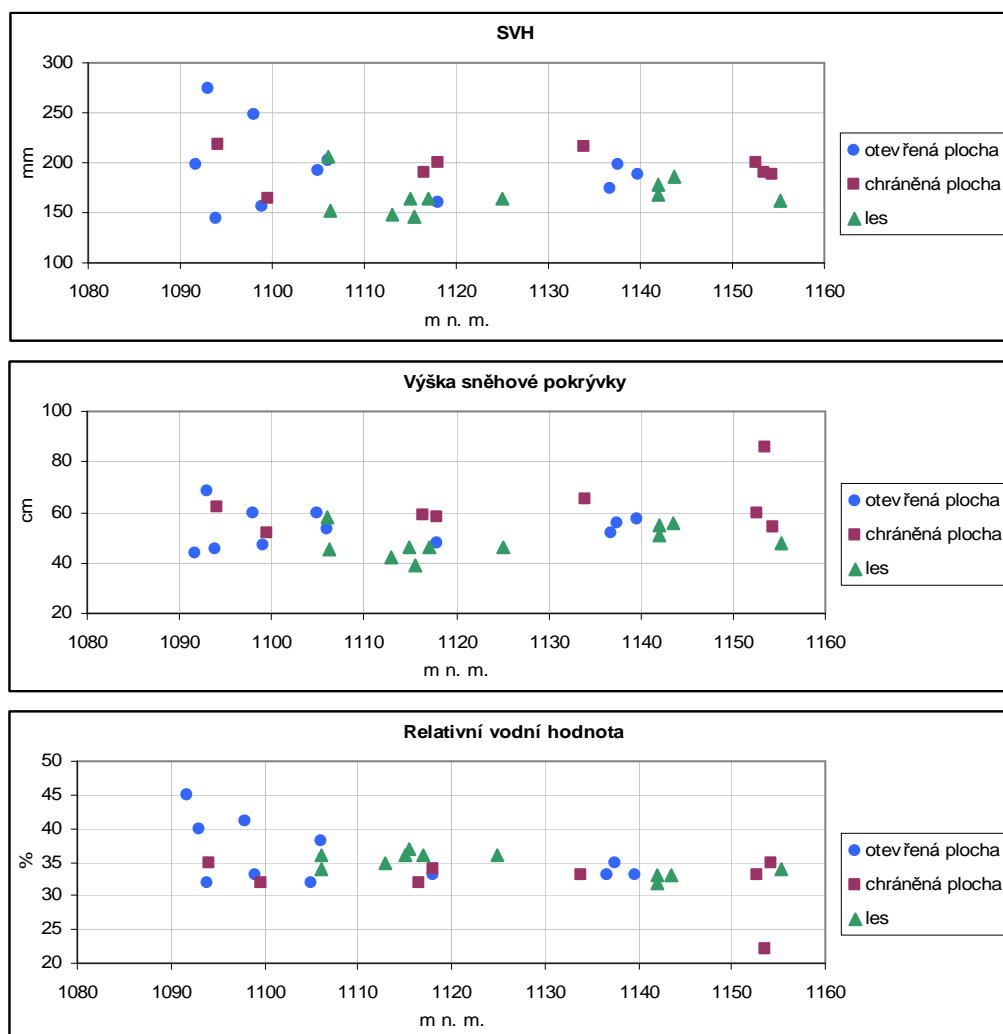
Na základě terénního měření lze opět vyslovit hypotézu, že pro odhad charakteristik sněhové pokrývky v sezoně 2006/7 v povodí Rokytky ze staničního měření se jeví jako nejrelevantnější využití dat ze stanice Grosser Arber.

**Tab. 11: Srovnání s měřením na meteorologických stanicích 16. 2. 2007**

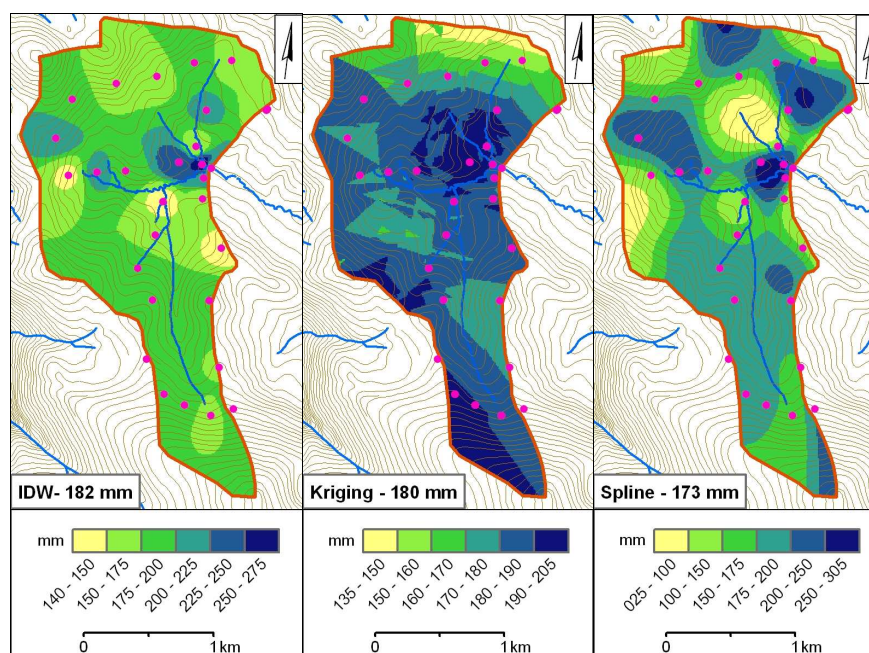
Stanice	m n. m.	SCE [cm]	SVH [mm]
Rokytka – měření	1089-1224	39-86	178 (144-274)
Grosser Arber	1436	102	163
Churáňov	1118	28	89
Filipova H.	1102	30	80
Horská K.	1048	22	není k dispozici
Kvilda	1062	22	80

*SCE – celková výška sněhové pokrývky, SVH – vodní hodnota*

**Obr. 30: Měřené charakteristiky sněhové pokrývky, povodí Rokytky 16. 2. 2007**



**Obr. 31: Prostorové rozložení vodní hodnoty sněhu 16. 2. 2007**



#### 5.4.2 Vyhodnocení měření v sezoně 2007/8

V této sezoně proběhly v povodí Rokytky dvě jednodenní měřičské akce 19. 2. a 2. 4. Ze srovnání s chodem charakteristik sněhové pokrývky na meteorologických stanicích (obr. 29) je vidět, že první měření proběhlo v době těsně před příchodem dílčího tání, které trvalo až do 12. 3., kdy přišlo další období bohatší na sněžení. Toto období vyvrcholilo 26. 3., kdy bylo na stanicích dosaženo sezonního maxima výšky sněhové pokrývky i její vodní hodnoty. Měření provedené následně 2. 4. tak může velice dobře dokumentovat skutečný stav sněhové pokrývky těsně před nástupem definitivního jarního tání sněhové pokrývky.

Měření prováděná v sezoně 2007/8 pokryla povodí Rokytky hustší sítí měřených bodů, měla by tedy teoreticky přinést i přesnější výsledky při určování celkového množství vody akumulované ve sněhové pokrývce.

Na grafech (obr. 32 a obr. 34) lze opět sledovat výsledky měření s ohledem na typ stanoviště a jeho nadmořskou výšku. U obou měření se opět projevilo nerovnoměrné rozložení zásob sněhu s ohledem na typ pokryvu. Na nezalesněných plochách byla vodní hodnota ve stejných výškových pásmech obecně o 30–40 % vyšší. Na rozdíl od předchozí sezony je možné sledovat mírný trend nárůstu vodní hodnoty s nadmořskou výškou, zejména u měření provedeného na konci února. Dubnové měření vykazovalo celkově větší míru variability než únorové měření. To lze vysvětlit větší variabilitou faktorů ovlivňujících charakteristiky sněhové pokrývky s příchodem jarního období. Chod teplot, výskyt epizod s deštěm, různá míra oslunění se v různých částech povodí zejména s ohledem na nadmořskou výšku projevují různě a zapříčiňují zvyšování prostorové variability.

Maxima dosahovala vodní hodnota na rozdíl od předchozí sezony v nejvyšších polohách povodí a její hodnoty byly oproti předchozímu roku více než dvojnásobné. To, že nejvyšší relativní vodní hodnota byla u všech měření situována do nejnižších poloh povodí je dáno dvěma faktory. Lze zde předpokládat častější výskyt teplot způsobujících částečné tání sněhu, které snižuje vodní hodnotu, ale způsobuje slehávání sněhové vrstvy. S nižší nadmořskou výškou vzrůstá i četnost výskytu dešťových srážek, které mají podobné účinky, přičemž srážky ve vyšších polohách mohou mít zároveň charakter sněžení, které relativní vodní hodnotu v dané lokalitě snižuje. Kromě těchto vlivů se ale může jednat i o důsledek rozdílného povrchu měření. V nejnižší ploché části povodí s vysokým podílem rašelinných ploch je totiž patrný značný stupeň podmáčení. Spodní část odebíraného vzorku při měření tak může být dotována vodou, která nepochází primárně ze sněhu v místě odběru. U vzorků odebíraných v takovýchto lokalitách bylo při dubnovém měření patrné značné nasáknutí touto vodou v jejich spodní části. Při únorovém měření se jednalo přímo o ledovou vrstvu, která komplikovala odběr.

Pro odhad celkových zásob vody akumulované v sněhové pokrývce byl použit stejný postup jako v sezoně 2006/7. Interpolace v prostředí GIS (obr. 33 a obr. 35) působí již daleko věrohodněji a odpovídá zkušenostem z měření v terénu. To je s největší pravděpodobností zapříčiněno rozsáhlejším pokrytím povodí měřenými body a dále je to také jistě nemalou měrou způsobeno celkovým charakterem zimní sezony, která byla z pohledu výskytu a množství sněhové pokrývky daleko příznivější. Podle maxima výšky sněhové pokrývky dosaženého na

stanici Churáňov byla sice opět spíše podprůměrná, ale přesto jí lze s ohledem na chod sněhové pokrývky přisoudit charakter typické zimní sezony. Na rozdíl od sezony 2006/7, která představovala výrazně podprůměrnou zimu s ohledem na kvalitu sněhové pokrývky.

Rastrovým výpočtem v prostředí GIS byly odhadnuty zásoby vody akumulované ve sněhu v povodí Rokytky při únorovém měření na 376 mm a při dubnovém měření na 422 mm. Srovnání s měřeními provedenými v rámci staniční sítě je možné sledovat v tab. 12 a tab. 13. Opět je možné potvrdit, že staniční měření na české straně Šumavy neposkytuje relevantní údaje vztažitelné k povodí Rokytky. Zejména průměrná vodní hodnota byla odhadnuta na více než trojnásobek hodnoty v průměru měřené na českých stanicích. Rozdílná nadmořská výška přitom není v žádném případě dostatečným vysvětlením. Naopak, stejně jako v předchozí sezoně byl odhadnutý průměr vodní hodnoty v obou termínech vyšší v porovnání s výrazně výše položenou stanicí Grosser Arber. V únoru to bylo dokonce o více než 30 %. V dubnu pak o přibližně 10 %.

Pro úplnost je nutno podotknout, že údaj o vodní hodnotě prezentovaný u českých stanic je platný k nejbližšímu termínu měření tohoto prvku. V únoru to bylo 18. 2. a pro měření provedené 2. 4. byly údaje o vodní hodnotě k dispozici pro 31. březen. U stanice Grosser Arber byl vždy k dispozici údaj ke dni obou terénních měření.

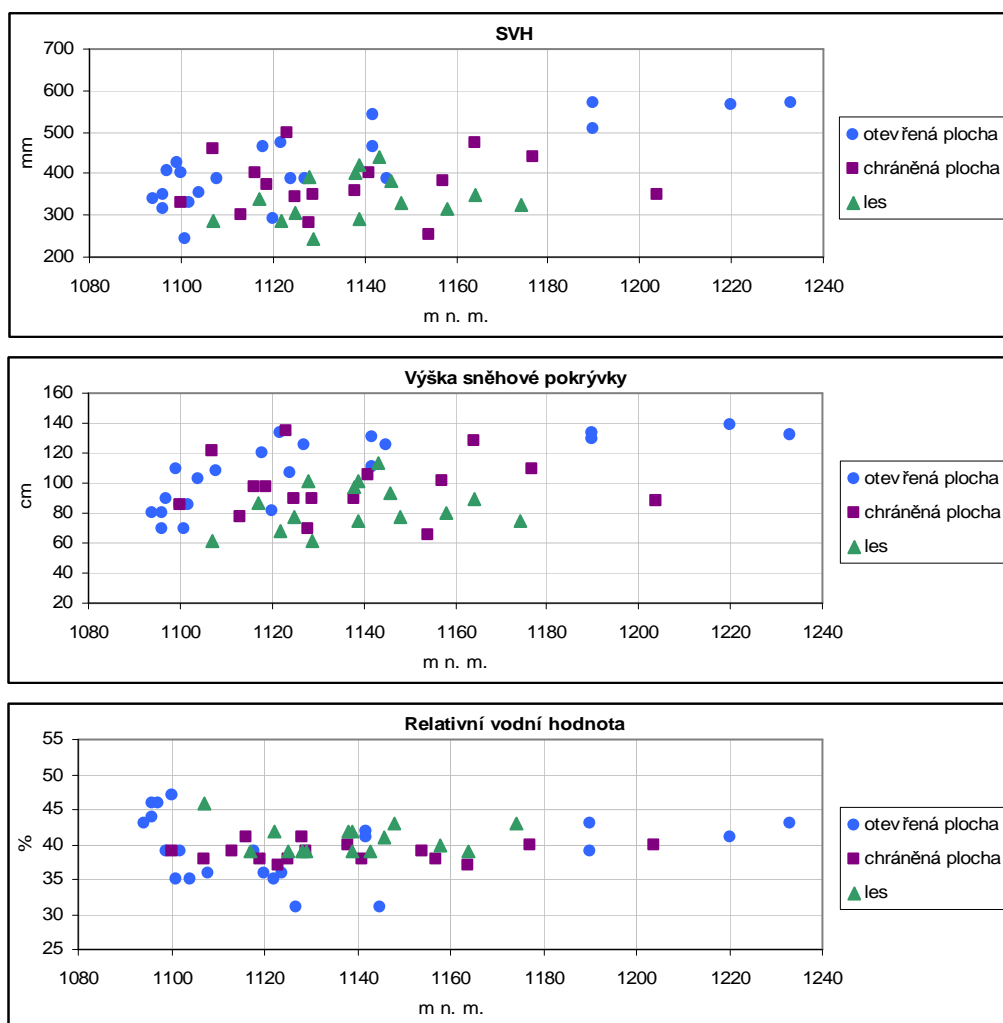
**Tab. 12: Srovnání s měřením na meteorologických stanicích 19. 2. 2008**

Stanice	m n. m.	SCE [cm]	SVH [mm]
Rokytky – měření	1089–1224	62–139	376 (241–568)
Grosser Arber	1436	123	273
Churáňov	1118	23	96
Filipova H.	1102	51	110
Horská K.	1048	20	není k dispozici
Kvilda	1062	28	112

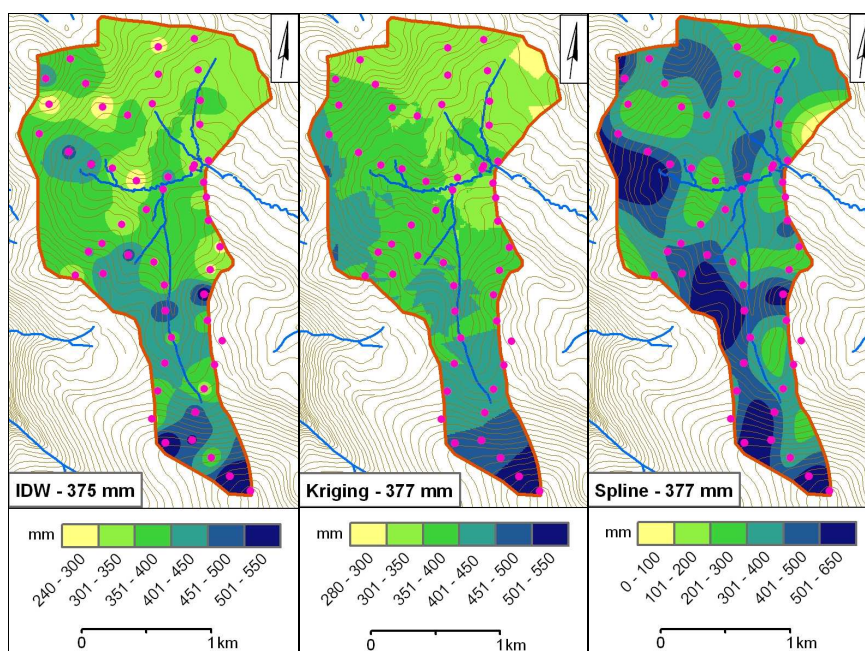
**Tab. 13: Srovnání s měřením na meteorologických stanicích 2. 4. 2008**

Stanice	m n. m.	SCE	SVH
Rokytky – měření	1089–1224	40–154	422 (208–660)
Grosser Arber	1436	152	380
Churáňov	1118	7	55
Filipova H.	1102	15	41
Horská K.	1048	8	není k dispozici
Kvilda	1062	7	60

**Obr. 32: Měřené charakteristiky sněhové pokrývky, povodí Rokytky 19. 2. 2008**

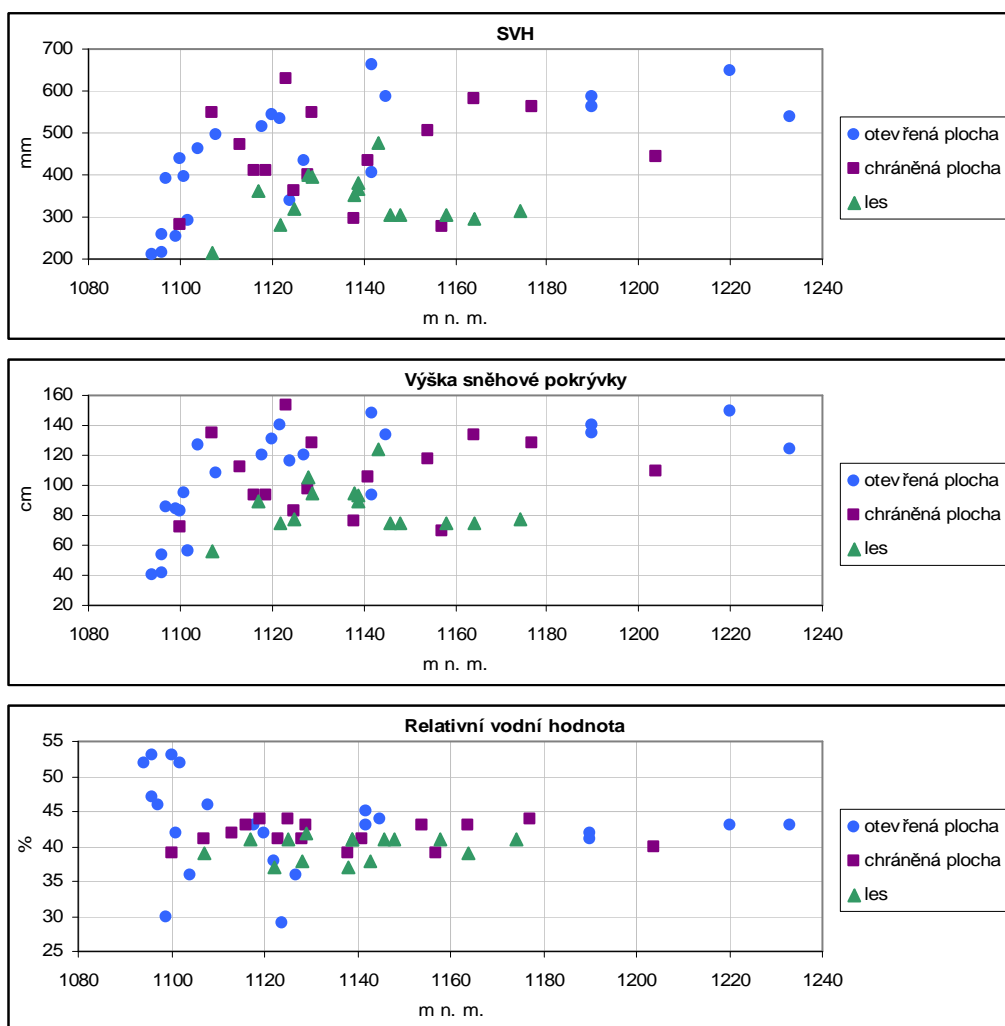


**Obr. 33: Prostorové rozložení vodní hodnoty 19. 2. 2008**

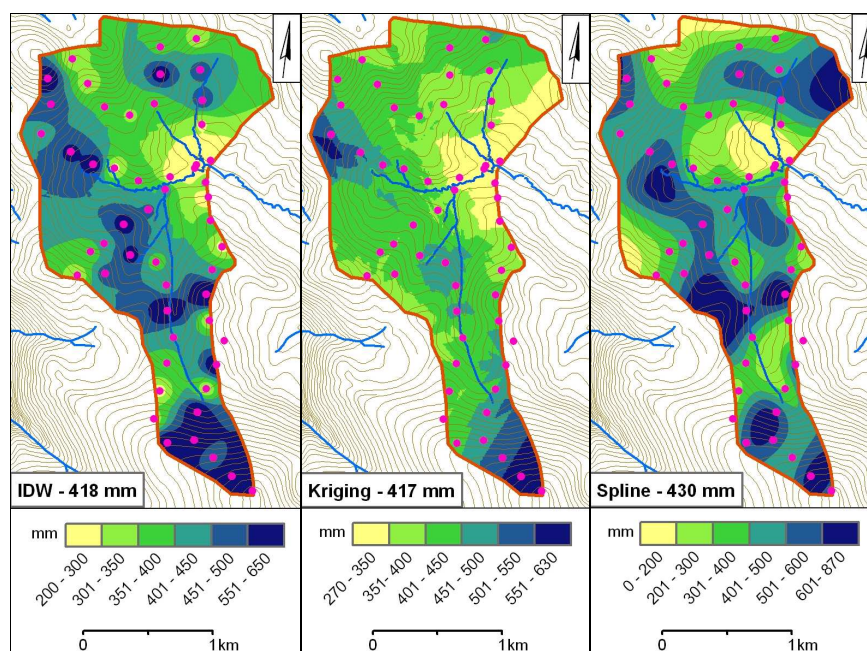




**Obr. 34: Měřené charakteristiky sněhové pokrývky, povodí Rokytky 2. 4. 2008**



**Obr. 35: Prostorové rozložení vodní hodnoty 2. 4. 2008**



---

## 5.5 Analýza odtoku

Pro analýzu odtoku byla v obou sezonách využita datová řada hodinových průtoků pro profil hladinoměru na Rokytce v rozsahu předpokládaného možného významného výskytu sněhové pokrývky, tedy v období od začátku listopadu do konce května. Chod hodinových průtoků, průměrných denních teplot vzduchu a odvozených denních srážkových úhrnů v obou sezonách přináší příslušné grafy (obr. 36 a 37).

Z grafu jsou jasně identifikovatelné situace se zvýšeným odtokem způsobené příčinou srážkou spadlou v kapalném skupenství a naopak, v jarním období situace vzniklé jako reakce na tání sněhové pokrývky, které se vyznačují typickým chodem průtoků během dne. Je pochopitelné, že při výskytu sněhové pokrývky je jí ovlivněna i odtoková odezva na dešťové srážky, do kterých se zapojuje i tavná voda.

Hladinoměr na Rokytce poskytuje data od 14. 7. 2006. Datová řada tedy není dostatečně dlouhá pro odvozování dlouhodobých charakteristik odtoku. V současné době jsou k dispozici data pouze pro jeden kompletní hydrologický rok – 2007. V něm bylo dosaženo průměrného ročního průtoků  $0,159 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . To odpovídá specifickému odtoku  $41,2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  a odtokové výšce 1299 mm. Za necelé dva roky pozorování v období od 14. 7. 2006 do 31. 5. 2008 činil průměrný průtok  $0,166 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Obecně lze dlouhodobý průměrný specifický odtok z povodí Rokytky očekávat vyšší než je dlouhodobý specifický odtok pro nadřazené povodí uzavřené profilem ČHMÚ Vydra-Modrava. Ten má přitom hodnotu  $33,4 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ . Vyšších hodnot by měl dosahovat především s ohledem na polohu povodí Rokytky, která patří z hlediska srážek k nejexponovanějším v rámci celého povodí horní Vydry.

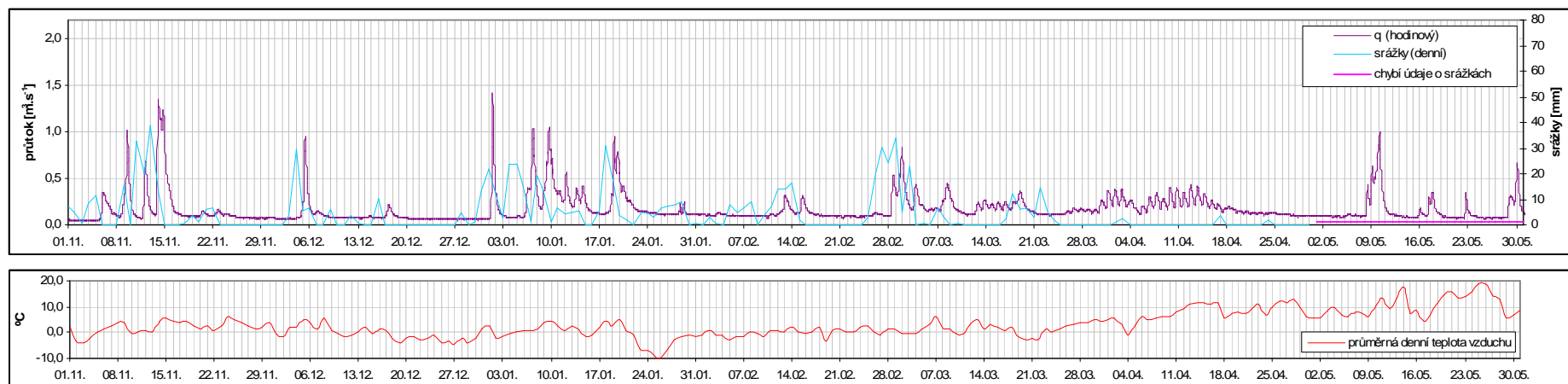
Při sledování chodů průtoků ve sledovaném období listopad – květen lze v hydrologickém roce 2007 identifikovat období zvýšené srážko-odtokové aktivity v první polovině ledna, které vyvrcholilo 18. a 19. ledna 2007 nebezpečnou hydrometeorologickou situací známou jako orkán Kyrill. Ještě výrazněji se v povodí Rokytky projevil o rok později přechod orkánu Emma 29. 2. a 1. 3. 2008. V obou sezonách jsou jasně zřetelná období zvýšeného odtoku během jarního tání sněhové pokrývky.

### 5.5.1 Identifikace jarního tání

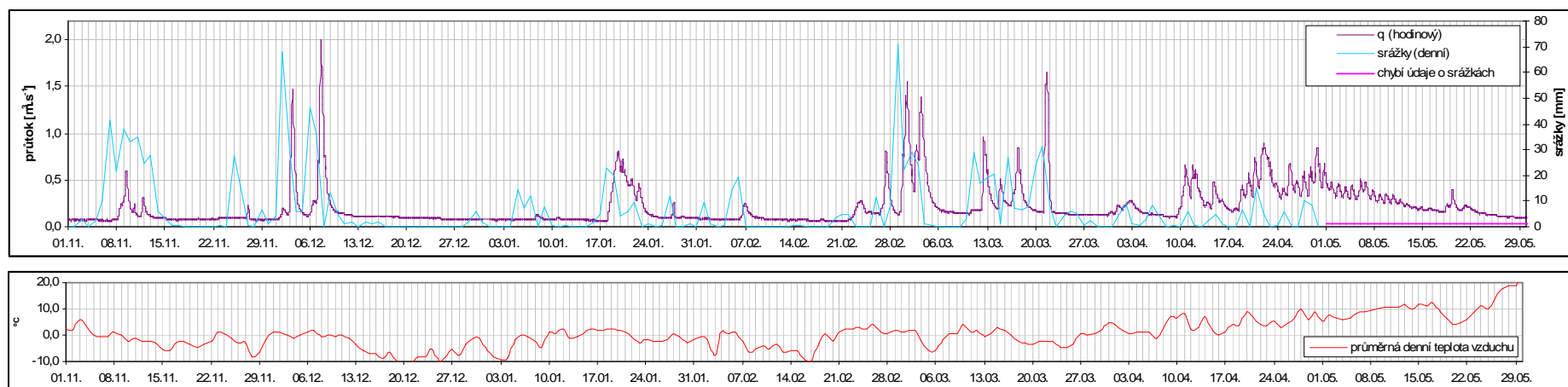
Jako jarní tání je zde chápáno zřetelné období zvýšeného odtoku z tajícího sněhu na konci období akumulace sněhové pokrývky zapříčiněné především nástupem jarních teplot vzduchu, které vede k úplnému roztání sněhové pokrývky, nebo alespoň té podstatné části, která se zřetelně projevuje na odtokových charakteristikách. Lokálně se jinak sníh může v povodí udržet až do letního období. Jeho množství je však z hydrologického hlediska zanedbatelné.

Na základě vizuální identifikace charakteristického pravidelného chodu průtoků během dne bylo v obou sezonách vymezeno hlavní období jarního tání sněhové pokrývky. V hydrologickém roce 2007 bylo toto období uvažováno od 12. 3. do 25. 4. V hydrologickém roce 2008 pak období od 9. 4. do 17. 5.

**Obr. 36 : Chod průtoků, srážek a teploty na Rokytce v sezoně 2006/7**



**Obr. 37: Chod průtoků, srážek a teploty na Rokytce v sezoně 2007/8**



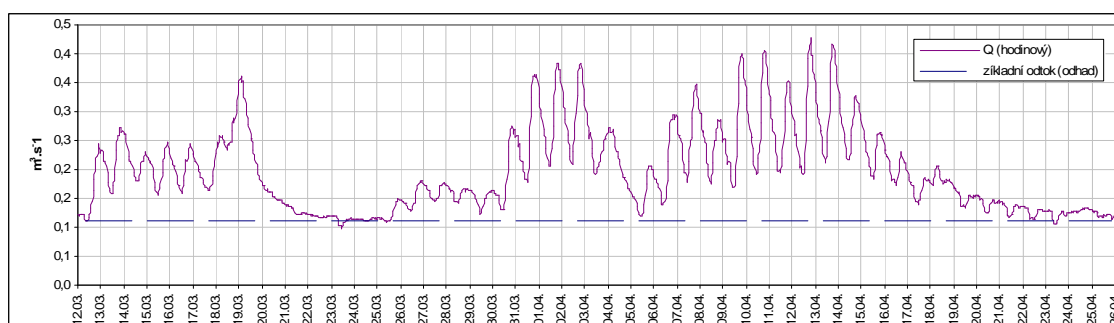
### 5.5.2 Porovnání charakteristik jarního tání v hydrologických letech 2007 a 2008

V roce 2007 byl jako zřetelný počátek jarního tání identifikován 12. březen. Jeho průběh je možné sledovat na grafu (obr. 38). Po deseti dnech došlo ke krátkodobému ochlazení, které na necelý týden přerušilo výraznější tání sněhové pokrývky. To poté pokračovalo až k období s výskytem maximálních kulminačních hodinových průtoků přesahujících  $0,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na konci první poloviny května. V následujícím období došlo ke kontinuálnímu poklesu průměrných denní průtoků a zároveň se snižovala i velikost rozdílu mezi maximy a minimy průtoků dosahovaných během jednoho dne, jehož vysoká hodnota je typická pro tání sněhové pokrývky v závislosti na denním režimu chodu teplot vzduchu. Konec výrazného vlivu přímého odtoku z tání sněhové pokrývky byl určen na 25. 4. Ukončení období jarního tání však není tak signifikantní jako jeho začátek a určení konkrétního dne je tak více subjektivní.

Období jarního tání při tomto vymezení trvalo 45 dnů. Celé období bylo poměrně málo ovlivněno srážkovou činností. Úhrn srážek za uvažované období 45 dnů byl určen na 60 mm. Tento údaj ale musí být chápán, vzhledem ke způsobu odvození srážkové datové řady pro povodí Rokytky, spíše jako orientační. Nejvyšší srážkové úhrny se přitom vyskytovaly právě v přechodném období relativně nízkých průměrných teplot vzduchu a lze tedy vyslovit hypotézu, že jejich značná část vypadávala jako sněžení. Tání sněhu tak bylo případnými dešťovými přeháňkami ovlivněno pouze minimálně. Tuto hypotézu potvrzuje i graf chodu průtoků během dne pro dané období (obr. 40). Je na něm patrný pravidelný průběh denního režimu průtoků s minimem dosahovaným před polednem okolo 10. a 11. hodiny a maximem pak v podvečerních hodinách kolem 18. a 19. hodiny.

Při snaze separovat základní odtok od přímého odtoku z tání sněhu a případné srážkové činnosti byla použita jednoduchá subjektivní metoda pouhého propojení minimálních průtoků na začátku a konci jarního tání. Na první pohled je patrné, že se jedná o postup, který může poskytnout pouze velice přibližný odhad základního odtoku. Takto separovaný základní odtok je pravděpodobně spíše podhodnocen. Hlavní výhodou této metody je především její jednoduchost. Obecně je vždy separace základního odtoku obtížným úkolem a jak uvádí Singh (2001), i podobné subjektivní metody separace základního odtoku mohou poskytovat dostatečně přesné výsledky s ohledem na jejich další využití.

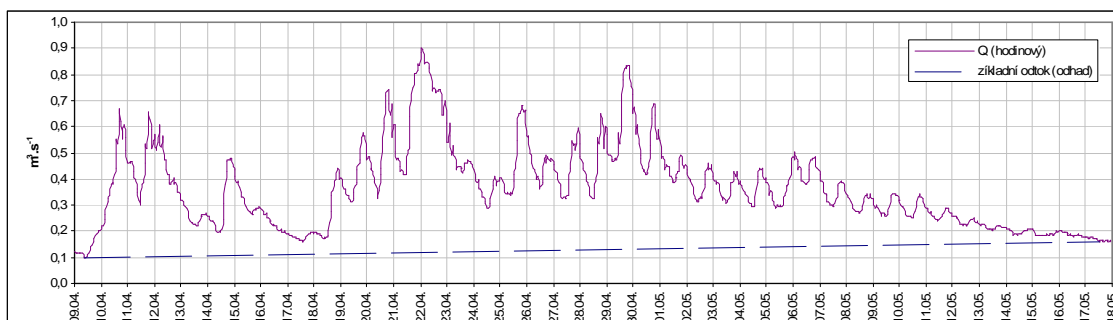
Obr. 38: Chod průtoků během jarního tání v hydrologickém roce 2007



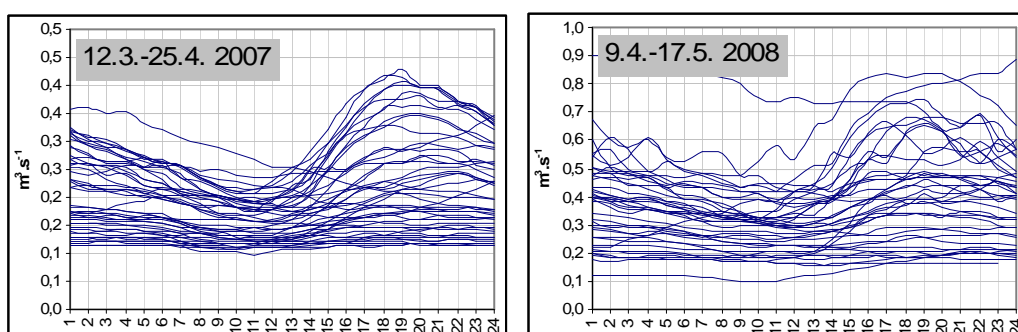
V hydrologickém roce 2008 bylo období jarního tání vymezeno od 9. 4. do 17. 5. a trvalo tedy 39 dnů. Jarní tání tak nastoupilo téměř o měsíc později než v předchozím roce. Tento fakt pouze dokumentuje celkovou mírnost zimního období 2006/7. Stejně jako v hydrologickém roce 2007 je nástup jarního tání v roce 2008 poměrně jasně identifikovatelný a konec je naopak spíše nevýrazný, charakterizovaný postupným snižováním průměrných denních průtoků a snižováním rozkolísanosti průtoků během jednotlivých dnů (obr. 39).

Na rozdíl od roku 2007 již však bylo období tání zřetelně ovlivněno vypadáváním srážek v podobě deště. To dokumentuje narušený ráz jinak pravidelného chodu průtoků v denním režimu (obr. 40), zvláště ve srovnání s rokem 2007. Použitá srážková datová řada bohužel končí 30. 4. a zbylých 17 dnů období tání tak není ze srážkového hlediska zdokumentováno. Za prvních 22 dnů (9. 4. – 30. 4.) činil odvozený srážkový úhrn 69 mm. Z poměrně pravidelného chodu průtoků po 30. dubnu tak lze pouze usuzovat, že zbylé období již bylo z hlediska srážkové činnosti poměrně klidné.

**Obr. 39: Chod průtoků během jarního tání v hydrologickém roce 2008**



**Obr. 40: Režim chodu hodinových průtoků během dne při jarním tání**



Při srovnání obou sledovaných období je na první pohled patrná celkově výraznější odtoková odezva v roce 2008. To bylo dáno zejména existencí větší zásoby vody akumulované ve sněhové pokrývce v roce 2008. Srovnání jarního tání v obou sezonách z hlediska celkového odečteného množství a charakteristik odtoku přinášejí tab. 14 a 15. Patrný je výraznější podíl odhadnutého přímého odtoku z tání sněhu (a případně z dešťových srážek) v roce 2008. Naopak v roce 2007 pravděpodobně i během tání převládá základní odtok. Zde je ovšem pochopitelně nutno doplnit, že i zmíněný základní odtok je jistě tvořen i tavnou vodou ze sněhové pokrývky.

Daleko výraznější je však rozdíl ve variabilitě dosahovaných průtoků. V roce 2008 byl ve srovnatelně dlouhém období jarního tání průměrný průtok o 85 % vyšší než v roce 2007. Celkově větší byla i rozkolísanost průtoků. Zatímco v roce 2007 se při tání sněhu průtoky pohybovaly v rozmezí 49–217 % průměrného průtoky za období tání, v roce 2008 to bylo od 27 do 247 %

**Tab. 14: Srovnání jarního tání v hydrologických letech 2007 a 2008**

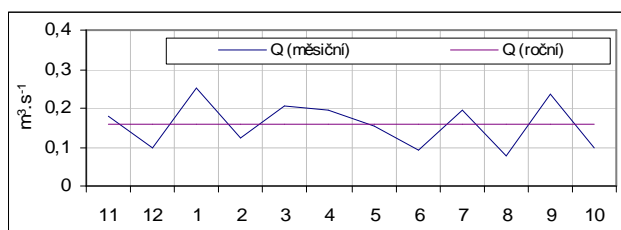
Sezona	Zvýšený odtok	Počet dnů	Odtok					
			celkový		základní		přímý	
			[mm]	%	[mm]	%	[mm]	%
2006/7	12.3.–25.4.	45	198	100	110	56	88	44
2007/8	9.4.–17.5.	39	319	100	113	35	205	65

**Tab. 15: Srovnání hodnot průtoků a specifického odtoku během jarního tání**

Sezona	Období	Průtok						Specifický odtok		
		průměrný		minimální		maximální		průměrný	minimální	maximální
		[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	%	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	%	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	%	[l.s <sup>-1</sup> .km <sup>-2</sup> ]	[l.s <sup>-1</sup> .km <sup>-2</sup> ]	[l.s <sup>-1</sup> .km <sup>-2</sup> ]
2006/7	12.3-25.4	0,197	100	0,097	49	0,427	217	51	25	111
2007/8	9.4-17.5	0,365	100	0,098	27	0,901	247	95	25	233

Celkový pohled na to, jak zařadit sledovaná období zimní akumulace sněhové pokrývky a následného jarního odtoku v hydrologických letech 2007 a 2008 umožňuje porovnání grafů chodu průměrných měsíčních průtoků pro oba sledované roky na Rokytce (obr. 41 a 42) s obdobným grafem dlouhodobého chodu měsíčních průtoků na stanici Vydra-Modrava (obr. 11). Dlouhodobě se na této stanici maxima měsíčních průtoků soustřeďují do období jarního tání kulminujícího zpravidla v květnu. V hydrologickém roce 2007 byl přitom chod průměrných měsíčních průtoků z tohoto pohledu značně nestandardní. Díky nezvykle teplému lednu se spadlé srážky neakumulovaly ve větší míře ve sněhové pokrývce. Nedochovalo tak ke zpoždění odtoku z těchto srážek, které je jinak obvyklé. Leden byl díky tomu nejvodnější měsícem v roce! Jarní tání v měsíci březnu a dubnu tak v měsíčním pohledu způsobilo pouze nevýrazné zvýšení průměrných měsíčních průtoků oproti celoročnímu průměru.

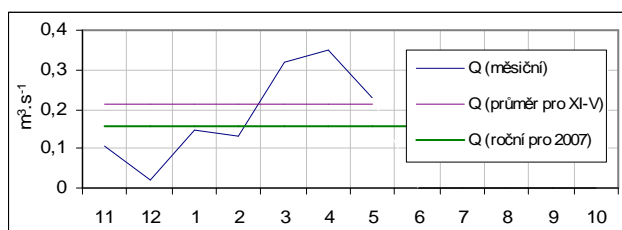
**Obr. 41: Měsíční chod průtoků na Rokytce v hydrologickém roce 2007**



Podle údajů z prvních sedmi měsíců hydrologického roku 2008 lze usuzovat, že z hlediska relativního chodu měsíčních průtoků se jedná o daleko typičtější rok s výrazným odtokovým maximem v době jarního tání. To je oproti dlouhodobému chodu na stanici Vydra-Modrava posunuto již na měsíc duben. Svědčí to o tom, že ač měla zima 2007/8 z dlouhodobého hlediska

typičtější průběh, celkové zásoby sněhu byly nižší a nástup jarního tání dřívější, než je typické. U samotného povodí Rokytky by přitom bylo logické vzhledem k poloze očekávat, že ve srovnání s celým povodím horní Vydry uzavřeným modravskou vodoměrnou stanicí bude k nástupu zvýšených průtoků způsobených táním sněhu docházet spíše později.

**Obr. 42: Měsíční chod průtoků na Rokytkce v části hydrologického roku 2008**



### 5.5.3 Vyhodnocení množství zásob vody ve sněhové pokrývce

V roce 2007 proběhla sněhoměrná kampaň již 16. 2., tedy 24 dnů před uvažovaným počátkem jarního tání sněhové pokrývky. Toto období bylo přitom charakterizováno na základě pozorování meteorologických stanic velice proměnlivým počasím z hlediska faktorů ovlivňujících případnou akumulaci či naopak tání sněhové pokrývky. Odhadnuté zásoby 178 mm vody akumulované ve sněhu v povodí Rokytky tak nelze jednoznačně použít k odhadu množství vody, které bylo skutečně k dispozici pro jarní tání. Kontrolní bilanci za období od uskutečnění terénního měření po konec uvažovaného období tání přináší následující tabulka.

**Tab. 16: Kontrolní vyhodnocení vodní bilance v hydrologickém roce 2007**

Období	Počáteční SVH	Srážky	Celk. vodní zásoby	Celk. odtok	Odtokový koeficient
16.1.–25.4.	178 mm	210 mm	388 mm	295mm	0,76

Je nutné si opět připomenout, že nejistota panuje zejména u určení celkového množství srážek. Rovněž je nutné si uvědomit, že část vodních zásob vytvořených v tomto období jistě odtékala díky zpoždění odtoku i po uvažovaném konci jarního tání 25. 4. Odtokový koeficient je tak s největší pravděpodobností tímto způsobem podhodnocen.

V roce 2008 proběhla druhá ze sněhoměrných kampaní 2. 4., tedy pouhých šest dnů před uvažovaným nástupem jarního tání. Z tohoto hlediska je možné odhadnutou zásobu vody akumulované ve sněhové pokrývce v povodí Rokytky rovnou 422 mm považovat za velice blízkou skutečné zásobě na začátku jarního tání. Pro provedení kontrolní bilance (tab. 17) je však limitující absence srážkových dat pro období 1. 5.–17. 5. Podhodnocené množství srážek by však zároveň znamenalo, že odtokový koeficient by vycházel ještě nižší.

**Tab. 17: Kontrolní vyhodnocení vodní bilance v hydrologickém roce 2008**

Období	Počáteční SVH	Srážky	Celk. zásoby vody	Celk. odtok	Odtokový koeficient
2. 4.–17. 5.	422 mm	95 mm (!)	517 m (!)	344 mm	0,67 (!)

Pozn.: Údaje o srážkách jsou k dispozici pouze pro období 2. 4.–30. 4.!



Díky tomu, že v hydrologickém roce 2008 proběhly dvě sněhoměrné kampaně, lze vypočítat hodnotu jejich výsledků částečně ověřit i provedením kontrolní bilance pro období ohraničené jejich termíny, tedy pro období od 19. 2. do 2. 4. (tab. 18). Z uvedeného přehledu se zdají být všechny hodnoty poměrně realistické. Subjektivním posouzením lze odhadnout, že určení průměrné vodní hodnoty na povodí Rokytky je možné považovat za přesnější, než způsob odvození srážkových úhrnů pro dané povodí.

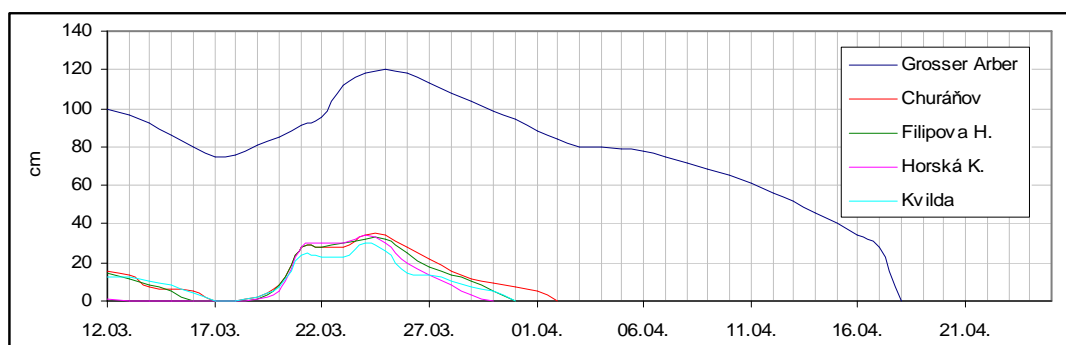
**Tab. 18: Kontrolní vyhodnocení vodní bilance mezi sněhoměrnými kampaněmi v roce 2008**

Období	Počáteční SVH	Srážky	Celk. vodní zásoby	Konečná SVH	Pro odtok k dispozici	Celk. odtok	Odtokový koeficient
19. 2.-2. 4.	376 mm	414 mm	790 mm	422 mm	368 mm	280 mm	0,76

#### 5.5.4 Porovnání období tání se staničním měřením

Období jarního tání v hydrologickém roce 2007 bylo vymezeno obdobím od 12. 3. do 25. 4. Již na začátku tohoto období došlo na českých stanicích k úplnému roztání sněhové pokrývky (obr. 43). Vzápětí však došlo ke krátkodobému obnovení sněhové pokrývky srážkovou činností v období, které se kryje s poklesem teploty vzduchu, které na krátkou dobu pozastavilo tání sněhové pokrývky zaznamenané na Rokytcce. Sníh však na českých stanicích nevydržel dlouho a na přelomu března a dubna jeho souvislou vrstvu nevykazovala žádná stanice. Z německé stanice Grosser Arber byl výskyt sněhové pokrývky hlášen až do 18. 4. Údaje z této stanice tak opět daleko věrohodněji reprezentují situaci v povodí Rokytky

**Obr. 43: Srovnání chodu výšky sněhové pokrývky v období tání 2007**



V roce 2008 bohužel nebyly pro tuto práci k dispozici údaje ze staničního měření pro celou dobu jarního tání. Nicméně již na počátku uvažovaného tání sněhové pokrývky 9. 4. vykazovaly české stanice v průměru pouze 10 cm sněhu. V té době ovšem bylo ve sněhové pokrývce na Rokytcce akumulováno okolo 400 mm vodního sloupce a tání probíhalo dalších 39 dnů! Po 17. 4. přitom výskyt sněhové pokrývky již nebyl hlášen z žádné z použitých českých stanic. Poslední údaj, který byl k dispozici ze stanice Grosser Arber k 30. 4. udával celkovou výšku sněhové pokrývky 85 cm s vodní hodnotou 238 mm. Na Rokytcce v té době do konce signifikantního odtoku z tání sněhu zbývalo 17 dnů.



---

## 6 DISKUZE

Hodnocení výsledků dosažených v rámci této diplomové práce je možné rozdělit do několika oblastí. Lze jej primárně rozdělit na zhodnocení terénních výzkumů provedených v rámci sněhoměrných kampaní a na následné zpracování získaných dat různé kvality a z různých zdrojů, která se stala základem pro snahu objektivně zhodnotit a analyzovat proces akumulace a následného tání sezonní sněhové pokrývky na příkladu modelového povodí Rokytky v hydrologických letech 2007 a 2008.

Proběhlé sněhoměrné kampaně prokázaly a potvrdily řadu důležitých skutečností. Zejména v horských podmínkách vykazují charakteristiky sněhové pokrývky (prezentované především vodní hodnotou a výškou sněhu) v prostoru vysokou míru variability, kterou lze pouze obtížně postihnout bodovým měřením, které poskytují meteorologické stanice. Na tuto skutečnost však upozorňuje řada autorů a je poměrně všeobecně známa. Obecně lze největší rozdíly alespoň v období akumulace sněhové pokrývky nalézt při konfrontaci množství sněhu uloženého v zalesněném prostoru a na otevřených plochách. Toto ovšem platí již při zkoumání v rámci lokálního měřítka zvolené oblasti. Globálně o množství, charakteru a délce trvání sněhové pokrývky pochopitelně rozhodují nadřazené faktory. Postup, který byl při sněhoměrných kampaních zvolen k monitoringu variability sněhové pokrývky a k následnému zhodnocení zásob vody akumulované v povodí ve sněhové pokrývce přinesl kvalitativně hodnotné informace a zdá se, že následné určení zásob vody v povodí odpovídá realitě. Zároveň se však plně prokázaly limitující faktory metody expedičního měření sněhové pokrývky. Takto detailně prováděné měření je značně časově náročné a rozumně hustou sítí bodů měření umožňuje pokrýt v rámci jednoho dne pouze malou plochu. V práci prezentované povodí Rokytky má rozlohu 3,86 km<sup>2</sup>. Popsané expediční měření sněhové pokrývky přitom v dané lokalitě trvá dvěma měřičským skupinám včetně potřebných přesunů na lokalitu celý den. Ukázalo se, že měřičská skupina postupuje v terénu při odběru vzorků sněhu hustoměrem každých cca 200–300 m průměrnou rychlostí 2–2,5 km.h<sup>-1</sup>. To dává jasné představy o limitech tohoto způsobu získávání informací. Je tedy nasnadě, že by se při výzkumu sněhové pokrývky mělo výrazně usilovat o vývoj dostatečně přesných prostředků a metod DPZ, které by expediční způsob měření dokázaly nahradit.

Při samotném zpracování se ukázala značná složitost problematiky faktorů ovlivňujících způsob ukládání a dalšího vývoje sněhové pokrývky v prostoru. V práci tak pro zjednodušení nebyla využita všechna data, která se vázala k lokalitám odebíraných vzorků. Nebyl např. uvažován vliv expozice a sklonitosti. Přesto se zdá, že výsledné výpočty zásob vody

---

akumulované ve sněhu prezentované v této práci představují velmi rozumné odhady odpovídající realitě. Zejména v roce 2007 se však zvoleným termínem měření nepodařilo postihnout stav sněhové pokrývky v povodí před začátkem jarního tání. To se naopak podařilo v následujícím roce 2008.

Dalším zdrojem vybraných dat byly výsledky ze staničního měření vytypovaných stanic ČHMÚ a DWD. Při žádosti o poskytnutí dat byl uvažovaným kritériem časového rozsahu požadovaných dat výskyt sněhové pokrývky na meteorologických stanicích. Nejdříve tak byla získána data ze stanic ČHMÚ a pro následnou žádost o data ze stanic DWD byl zvolen logicky stejný časový rozsah. V hydrologickém roce 2008 se však bohužel ukázalo, že zvolený rozsah listopad–duben u německých stanic nestačí a pro analýzu jarního odtoku tak chyběla zejména data o srážkách v sedmnáctidenním závěrečném období tání sněhu v povodí Rokytky.

Největší neznámou představují ve zpracovávaných datech denní srážkové úhrny pro samotné povodí Rokytky. Bylo snahou získat z dostupných dat rozumným způsobem co nejpřesnější datovou řadu charakterizující povodí Rokytky. Vhodnost zvoleného postupu, tak jak je v práci popsán, je těžké v rámci té samé práce objektivně zhodnotit. Během práce s těmito daty však nebyl odhalen zásadní problém, který by naznačoval zásadní nevhodnost aplikace takto odvozené datové řady. I přesto je výsledná srážková data nutno využívat s neustálou opatrností a s kritickým pohledem.

Hlavním bodem patrným z výsledků práce, který se projevil již při jejich vypracování je představa naprosté nevhodnosti využití dat ze staničního měření na české straně Šumavy zejména pro charakterizaci srážkové činnosti v povodí Rokytky. Ze zpracovávaných dat i z praktické zkušenosti se během práce neustále ukazovalo, že stanicí, která ve sledovaném období nejlépe charakterizovala zájmové povodí Rokytky z hlediska srážek a charakteristik sněhové pokrývky je německý Grosser Arber, a to i přes to, že je od povodí vzdálen přes 20 km a nadmořská výška stanice je přibližně 300 m výše než je průměrná nadmořská výška povodí Rokytky. Zde je nutné přiznat, že tyto závěry byly vyvozeny pouze na základě dvou sledovaných půlročních období, kdy navíc přesná srážková data pro stanici na Rokytcce pokrývala v tomto období pouze necelé tři měsíce.

Při hodnocení podkladových dat je nutné vyzdvihnout fungování ultrazvukového hladinoměru umístěného na Rokytcce. Datová řada, která je výsledkem jeho monitoringu, poskytuje vynikající možnost zpracování detailních analýz vybraných odtokových situací. V této práci tak šlo např. poměrně jednoduše identifikovat jarní tání sněhu, které je charakteristické pravidelným chodem průtoků v rámci dne, které mnohdy až s překvapivým zpožděním reaguje na denní chod teplot vzduchu. Přesnost měření však musí být zaručena i vhodným měrným profilem k získávání dat pro odvození konzumpční křivky. Ten se však zdá být na Rokytcce téměř ideální.

Jako nevýhoda se ukazuje zejména absence vyhřívaného srážkoměru, který by v modelovém povodí Rokytky zaručil celoroční monitoring srážek. Jako potenciálně problematické se jeví využití dat z čidla hladinoměru charakterizujících chod teplot vzduchu.

---

Samotná analýza odtoku během jarního tání byla pochopitelně ovlivněna rozsahem a kvalitou vstupních dat, kterých bylo pro její vypracování využito. Jejich kladné a potenciálně záporné vlastnosti přitom byly popsány výše. Jako největší úskalí zpracované analýzy je dále možné uvést zejména omezení předpokládaného jarního odtoku z tání sněhu na období identifikovatelné pouze na základě výskytu charakteristického denního chodu průtoků a dále pak použitý velmi jednoduchý způsob separace základního odtoku.

Původ vodních zásob, které se uplatňují jako základní odtok je obecně pouze velmi těžko určitelný. Použitý způsob identifikace jarního tání ignoruje fakt, že tavná voda se neúčastní pouze tzv. rychlého odtoku, který se v závěrovém profilu projeví v řádu hodin, ale doplňuje i zásoby podzemní vody, takže voda pocházející z tání sněhové pokrývky odtéká jistě závěrovým profilem i poměrně dlouho poté, co odezněla přímá odtoková odezva způsobená táním sněhu. To následně ovlivňuje i provedené vodní bilance. Pro potřeby separace základního odtoku byla využita poměrně málo sofistikovaná metoda, kdy ovšem nebyl kladen důraz na absolutní přesnost, ale spíše aplikační jednoduchost.

Výsledky analýzy dokázaly na základě komplexního zhodnocení typizovat chování odtoku z povodí Rokytky v zimním a jarním období zkoumaných hydrologických let 2007 a 2008. Rok 2007 tak může být ohodnocen jako zcela specifický z hlediska průběhu výskytu sněhové pokrývky a odtoku v období zimy a jara., což bylo způsobeno především nezvykle vysokými hodnotami průměrných teplot vzduchu v období, kdy se jinak většina srážek akumuluje ve sněhové pokrývce. Rok 2008 pak byl zařazen jako typický co se týče relativního chodu odtoku z povodí v zimní a jarní sezoně, ale jako podprůměrný s ohledem na celkové zásoby vody akumulované ve sněhové pokrývce a rovněž s dřívějším nástupem jarního tání. Toto hodnocení bylo přitom založeno na porovnání relativního chodu průtoků pozorovaných na Rokytce ve zkoumaných obdobích a dlouhodobých charakteristikách odtoku, které reprezentuje poměrně dlouhá řada pozorování na profilu Vydra-Modrava. Byl přitom využit předpoklad, že chod průtoků v rámci průměrného roku na profilu ohraničujícím povodí o ploše 90 km<sup>2</sup> bude v relativním pohledu odpovídat i profilu jeho dílčího povodí o ploše pouhých 3,86 km<sup>2</sup>. U celkově poměrně plochého povodí horní Vydry se dá předpokládat srovnatelnost fyzicko-geografických podmínek. Odlišné ovšem mohou být především srážkové poměry, neboť východním směrem se dá v tomto povodí předpokládat vzrůstající vliv závětrného efektu. I přes to se ale toto srovnání zdá být opodstatněné.

S ohledem na výše uvedená fakta lze konstatovat, že hlavní cíle práce uvedené v úvodu se podařilo v rozumné míře splnit, i když mnohdy ne v souladu s představou, která panovala při jejích vytyčování. Zcela jasně se projevila složitost a komplexnost problematiky sněhové pokrývky z hydrologického pohledu, která naopak při zpracování do podoby této práce nutila mnohdy k výraznému zjednodušování reality.

---

## 7 ZÁVĚR

Sezonní sněhová pokrývka, která je v našich horských povodích významným zdrojem vodnosti v celkové roční bilanci, představuje zároveň v prostoru a čase poměrně těžko kvantifikovatelný prvek, jehož charakter výskytu se vyznačuje vysokou mírou časové a prostorové variability.

Za účelem detailnějšího prozkoumání tohoto fenoménu byla podniknuta v zimním a jarním období v hydrologických letech 2007 a 2008 série sněhoměrných kampaní, které měly za úkol zhodnotit skutečné prostorové rozložení zásob vody akumulované ve sněhové pokrývce. Tato měření přitom byla provedena ve vybraných dílčích povodích pramenné oblasti Otavy, kde zároveň probíhá rozsáhlejší hydrologický výzkum zaměřený mimo jiné na prozkoumání skutečné hydrologické funkce rašelinišť jako významného fenoménu vyskytujícího se v hojně míře právě ve vybraných částech pramenné oblasti Otavy.

Tato práce přináší poznatky o režimu akumulace a tání sněhu v modelovém povodí Rokytky ve zvoleném období. Jako podkladových dat přitom bylo využito zejména výsledků celkem tří sněhoměrných kampaní uskutečněných v zájmovém povodí. Odtoková složka analýzy byla provedena na základě vyhodnocení monitoringu průtoků ultrazvukovým hladinoměrem instalovaným a provozovaným Katedrou fyzické geografie a geoekologie. Zároveň bylo provedeno srovnání s daty charakterizujícími sněhovou pokrývku na okolních meteorologických stanicích.

Měření charakteristik sněhové pokrývky přímo v terénu potvrdilo existenci znatelného rozdílu v množství akumulovaného sněhu zejména mezi otevřenými plochami a lesem, což je okolnost, kterou lze jen obtížně postihnout použitím výsledků měření prováděných běžně na meteorologických stanicích. Zároveň se ale ukázala i obrovská variabilita v množství sněhu na různých stanovištích obdobného charakteru ve srovnatelné nadmořské výšce. To svědčí o značné složitosti procesu akumulace sněhové pokrývky v prostoru a čase, které je ovlivňováno značným množstvím faktorů.

Ukázalo se, že povodí Rokytky, které se nachází ve vrcholové části Šumavy, spadá svým charakterem výskytu a množstvím sněhové pokrývky stejně jako zimního chodu srážek k návětrné části pohoří, které daleko lépe charakterizují staniční měření prováděná na německé návětrné straně. Naopak měření českých stanic, i těch které se nalézají v obdobné nadmořské výšce a jsou ve většině případů mnohem blíže povodí Rokytky, jsou pro vystihnutí podmínek panujících v tomto povodí bez patřičných korekcí prakticky nepoužitelné. V obou sledovaných sezonách se ukázalo, že měření úhrnů srážek, výšky sněhové pokrývky a její vodní hodnoty na

---

německé stanici Grosser Arber nejlépe vystihuje skutečné podmínky v povodí Rokytky, a to i přes to, že se tato stanice nachází více než 20 km od zájmového povodí a ve výrazně větší nadmořské výšce (v průměru o přibližně 300 m). Lze tedy usuzovat, že obdobná situace bude platná i pro ostatní dílčí povodí nacházející se v okolí hlavního hřebenu centrální části Šumavy. V práci je přitom navržen způsob odvození srážkových úhrnů pro zkoumané povodí právě na základě dat z meteorologických stanic nacházejících se v návětrné části Šumavy.

Z analýzy odtoku vyplynulo, že sledovaný hydrologický rok 2007 byl z hlediska výskytu a množství sněhové pokrývky značně specifický, stejně jako odtok z následného jarního tání. Nadprůměrné teploty vzduchu zejména v lednu 2007 neumožnily vytvoření obvyklého množství zásob sněhu. Lednové srážky, které se jinak obvykle akumulují ve sněhové pokrývce a odtékají až se značným zpožděním během jarního tání, tak odtékaly již během samotného ledna a způsobily, že jinak jeden z nejméně vodných měsíců v roce předčil množstvím odtoku v hydrologickém roce 2007 všechny ostatní.

Rok 2008 se z pohledu chodu odtoku během zimy a jara daleko více blížil průměrnému stavu. Celkové zásoby vody akumulované ve sněhové pokrývce lze však označit spíše za podprůměrné. Stejně tak kulminace odtoku vázaná na období jarního tání přišla dříve, než je pro danou oblast typické.

V práci byla rovněž ukázána možnost identifikace jarního tání na základě identifikace období s charakteristickým režimem odtoku během dne. Signifikantní rozdíl mezi dosahovanými denními maximy a minimy odtoku je závislý především na typickém denním chodu teploty vzduchu. Odtoková reakce v závěrovém profilu přitom za denním maximem teploty vzduchu nastává řádově s několikahodinovým zpožděním.

Výsledky této práce mohou posloužit jako dílčí podklady pro komplexnější analýzu odtokového režimu pramenné oblasti Otavy, neboť povodí Rokytky je v tomto kontextu možné chápat jako jedno z typických povodí pro danou oblast.

---

## POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ

### Literatura

- BARTÁK, Z. (1995): Hydrologické předpovědi v povodí vodního díla Nýrsko. Práce a studie, Issue 26, ČHMÚ, Praha, str. 9-26.
- BEAUMONT, R. T. (1965): Mt. Hood Pressure Pillow Snow Gage. Journal of Applied Meteorology, vol. 4, American Meteorological Society, Boston str. 626 – 631.
- BEDIENT, P. B., WAYNE, C. H. (1989): Hydrology and Flooplain Analysis. Addison –Wesley Publishing Company, USA, 650 s.
- BEDNÁŘ, J (2003): Meteorologie.Úvod do studia dějů v zemské atmosféře. Portál, Praha, 224 s.
- BERCHA, Š. et al. (2008): Charakteristiky odtoku v období tání v experimentálních povodích v Jizerských horách. In: ŠÍRCH, M. et al. (eds.). *Hydrologie malého povodí 2008*. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Praha, str. 15 – 18.
- BRÁZDIL, R. et al. (2005): Historické a současné povodně v ČR. MU v Brně a ČHMÚ v Praze, 369 s.
- BRÁZDIL, R., ŠTEKL, J. (1986): Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Univerzita J. E. Purkyně, 298 s.
- CAROLL, T. (2001): Airborne Gamma Radiation Snow Survey Program. NOAA, Chanhassen, 14 s. Dostupné online z URL: < <http://www.nohrsc.noaa.gov/special/tom/gamma50.pdf>>
- CLINE, W.D., BALES, R.C., DOZIER, J. (1998): Estimating the Spatial Distribution of Snow in Mountain Basis Using Remote Sensing and Energy Balance Modeling. Water Resources Research, vol. 34, str. 1275 – 1285.
- DAŇHELKA, J. et al. (2006): Vyhodnocení předpovědí hydrologických modelů. In: Vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR. VÚV a ČHMÚ, Praha, str. C 42 – C 52.
- DEMEK, J. et al. (1976): Úvod do obecné fyzické geografie. Academia, Praha, 404 s.
- DUB, O. (1963): Hydrológia, hydrografia, hydrometria. SVTL, Bratislava, 528 s.
- DUB, O., NĚMĚC, J. et al.(1969): Hydrologie. SNTL, Praha, 380 s.
- GUPTA, R. S. (2001): Hydrology and Hydraulic Systems. Waveland Press, Long Grove, 867 s.

- 
- HOLKO, L., KOSTKA, Z. (2007?): Snow Cover in Northern Slovakia – Past, Present and Future. *Folia Geographica, Series Geographica – Physica*, vol. 2006 – 2007, Polska Akademia Nauk, Krakow, str. 37 – 51.
- KAKOS, V. et al. (2006): Porovnání s obdobnými případy jarních povodní v minulosti. In: *Vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR. VÚV a ČHMÚ, Praha*, str. B 64 – B 72.
- HOŠEK, J. (1997): Sněhová pokrývka na Šumavě a v oblasti Krkonoš a Jizerských hor v období 1960/61 – 1989/90. *Bakalářská práce. PřF UK, KFGG, Praha* 39 s.
- HRUŠKOVÁ, K. (2006): Modelování odtoku z tajícího sněhu v povodí Horního Hronu. *Disertační práce. MU v Brně, PřF*, 106 s.
- DE JONG, C., COLLINS, D., RANZI, R. (2005): *Climate and Hydrology in Mountain Areas*. John Wiley and Sons, Chichester, ? s.
- CHÁBERA, S. a kol. (1987): *Příroda na Šumavě*. Jihočeské nakladatelství, České Budějovice, 182 s.
- JELÍNEK, J. (2006): Hydrografie a režim odtoku v povodí Roklanského potoka. *Bakalářská práce. PřF UK, KFGG, Praha*, 36 s.
- JIRÁK, J. (2005): Meranie výšky a vodném hodnoty snehu v Jizerských horách. In: Holko, L ; Kostka, Z. (eds.). *10. stretnutie sneharov. Zborník Rozšírených abstraktov*. Ústav hydrologie SAV, Liptovský Mikuláš, str. 17 – 20.
- JUŘIKOVSKÁ, L., ŠEDĚNKOVÁ, M. (2008): Odhad plošných srážek pro povodí řeky Olše. *Institut geoinformatiky VŠB-TU, Ostrava*, 7 s.
- KEMEL, M. (2000): *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. ČVUT, Praha, 290 s.
- KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2008): Possibilities of Headwaters Retention Potential Enhancement – Case Study Upper Otava River Basin. XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, 2.-4. 6. 2008, Bled, 13 s.
- KREJČÍ, J. (2000): *Modely odtoku ze sněhu*. ČZU, Praha, 40 s.
- KUBÍČEK, J. (2006): Analýza srážkových dat z centrální Šumavy. *Diplomová práce. ČZU, Praha*, 83 s.
- KŘÍŽ, V. et al. (1988): *Hydrometrie*. SPN, Praha, 176 s.
- LEJSKOVÁ, K. (2000): Srážky v jihočeské části Šumavy v období 1961-95. *Diplomová práce. PřF UK, KFGG, Praha*, 99 s.
- LUCE, C.H., TARBOTON, D.G. (1998): The Influence of the Spatial Distribution of Snow on Basin – Averaged Snowmelt. *Hydrological Processes*, vol. 12, Wiley Inter Science, str. 1671 – 1683.
- MEIER, M. F. (1979): *Remote Sensing of Snow and Ice*. UNESCO, Paříž, 54 s.

- 
- MIKLÁNEK, P., PEKÁROVÁ, P. (2007?): Influence of Forest on Snowmelt Runoff in Small Highland Basins in Slovakia. *Folia Geographica, Series Geographica – Physica*, vol. 2006 – 2007, Polska Akademia Nauk, Krakow, str. 53 – 64.
- MOLOTCH, N.P. et al. (2005): Estimating the Spatial Distribution of Snow Water Equivalent in an Alpine Basin Using Binary Regression Tree models: the Impact of Digital Elevation Data and Independent Variable Selection. *Hydrological Processes*, vol. 19, Wiley InterScience, str. 1459 – 1479.
- NĚMEČKOVÁ, K. (2007): Problematika hydrologického modelování sněhu. Bakalářská práce. PřF UK, KFGG, Praha 46 s.
- PECUŠOVÁ, Z., PARAJKA, J. HRUŠKOVÁ, K. (2002): Spatial Estimation of Snow Water Equivalent in the Mountain Basin Bystra. ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demänovská dolina, Slovakia, 5 s.
- POŠTA, P. (2004): Organogenní jezera v České republice. Diplomová práce. PřF UK, KFGG, Praha, 119 s.
- RANZI, R. et al. (1998): Ten Years of Monitoring Areal Snowpack Using NOAA-AVHRR Radiometry and Ground Measurements in the Southern Alps. In: International Conference on Snow Hydrology – The Integration of Physical, Chemical and Biological systems. US Army Corps of Engineers, Washington, str. 89.
- ŘEZÁČOVÁ, D. et al. (2007): Fyzika oblaků a srážek. Academia, Praha, 574 s.
- ŘIČICOVÁ, P. et al. (2006): Zhodnocení spolehlivosti a účinnosti systému měření výšky sněhové pokrývky a její vodní hodnoty včetně systémů dálkové detekce srážek (radary, satelity). In: Vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR. VÚV a ČHMÚ, Praha, str. A 35 – A 53.
- SINGH, P., SINGH, V. P. (2001): Snow and Glacier Hydrology. Kluwer Academic Publisher, Londýn, 742 s.
- SOBÍŠEK, B. et al. (1993): Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Academia a MŽP ČR, Praha, 594 s.
- ŠAMAJ, F. et al. (1991): Variabilita charakteristik sněhových poměrů v karpatské části ČSFR v období 1920/21 – 1984/85. SHMÚ, Bratislava, 175 s.
- ŠPÁTOVÁ, Z. (2006): Možnosti určování parametrů sněhové pokrývky pomocí dálkového průzkumu země. Ročníková práce. PřF UK, KAGK, Praha, 47 s.
- TOLASZ, R. et al. (2007): Atlas podnebí Česka. ČHMÚ a UP Olomouc, Praha, 256 s.
- TURČAN, J. (2005): Spomienky snehára. In: Holko, L ; Kostka, Z. (eds.). *10. stretnutie sneharov. Zborník Rozšířených abstraktov*. Ústav hydrologie SAV, Liptovský Mikuláš, str. 1 – 10.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (1998): Engineering and Design – Runoff From Snowmelt. USACE, Washington, 142 s.



---

VLASÁK, T. (2008): Návrh databanky povodní Otavy a její využití v protipovodňové ochraně. Disertační práce. PřF UK, KFGG, Praha, 89 s.

## **Internetové zdroje**

CIINE, D. (1999): Snow hydrology [online]. Bolulder, USA [cit. 2008-07-10]. Dostupné z URL:  
<[http://www.comet.ucar.edu/class/hydromet/09\\_Oct13\\_1999/docs/cline/comet\\_snowhydro/index.htm](http://www.comet.ucar.edu/class/hydromet/09_Oct13_1999/docs/cline/comet_snowhydro/index.htm)>.

NĚMEC, L. (2006): Vodní hodnota sněhové pokrývky [online]. ČHMÚ ?, Ostrava [cit. 2008-07-22]. Dostupné z URL:  
<[http://www.chmi.cz/OS/metspol/prednasky/Nemec\\_vodni\\_hodnota.pdf](http://www.chmi.cz/OS/metspol/prednasky/Nemec_vodni_hodnota.pdf)>.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2006): WMO Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation [online]. WMO, Geneva [cit. 2008-07-21]. Dostupné z URL: <<http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO-Guide/Draft-7-edition.html>>.

## **Další prameny**

HLADNÝ, J. (2006 ?): Co je třeba o povodních vědět předem. Tištěný materiál k přednášce Vodní hospodářství na PřF UK, Praha, 15 s.

## **Mapové podklady a datové vrstvy GIS**

### **Tištěné mapy**

TRASA s. r. o. (2002): Šumava – Povydlí [1 : 50 000]. Trasa s. r. o., Praha.

EUROKART s. r. o. (2005): NP Šumava – Pláně [1 : 25 000]. Geodézie On Line, Česká Lípa.

### **Datové vrstvy GIS**

VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. M. (?): Útvary povrchových vod [datové vrstvy ve formátu shapefile]. VÚV TGM, Praha, data získána v roce 2006.

CENIA – ČESKÁ INFORMAČNÍ AGENTURA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ (?): data z mapového serveru přístupná online z <<http://geoportal.cenia.cz>>. Data využívána online v období duben–srpen 2008.

---

## SEZNAM TABULEK

TAB. 1: ROZDĚLENÍ SRÁŽEK PODLE INTENZITY .....	12
TAB. 2: TYPICKÉ HUSTOTY SNĚHU V RŮZNÝCH STÁDIÍCH VÝVOJE.....	16
TAB. 3: MĚSÍČNÍ VÝPAR ZE SNĚHOVÉ POKRÝVKY .....	16
TAB. 4: DĚLENÍ SNĚHU PODLE PODÍLU OBJEMU KAPALNÉ VODY .....	17
TAB. 5: TYPY POVODNÍ PODLE PŘÍČIN.....	19
TAB. 6: KLIMATOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY VÝSKYTU SNĚHU A SNĚHOVÉ POKRÝVKY V OBLASTI ROKYTKY.....	36
TAB. 7: ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY MODELOVÉHO POVODÍ ROKYTKY .....	37
TAB. 8: PŘEHLED VYBRANÝCH METEOROLOGICKÝCH STANIC A POSKYTNUTÝCH DAT .....	48
TAB. 9: POROVNÁNÍ SRÁŽKOVÝCH ÚHRNŮ NA VYBRANÝCH STANICÍCH V OBDOBÍ 1. 11. 2006 – 22. 1. 2007 .....	51
TAB. 10: SROVNÁNÍ MĚŘENÍ TEPLoty VZDUCHU V SEZONÁCH 2006/7 A 2007/8.....	55
TAB. 11: SROVNÁNÍ S MĚŘENÍM NA METEOROLOGICKÝCH STANICÍCH 16. 2. 2007 .....	60
TAB. 12: SROVNÁNÍ S MĚŘENÍM NA METEOROLOGICKÝCH STANICÍCH 19. 2. 2008.....	63
TAB. 13: SROVNÁNÍ S MĚŘENÍM NA METEOROLOGICKÝCH STANICÍCH 2. 4. 2008.....	63
TAB. 14: SROVNÁNÍ JARNÍHO TÁNÍ V HYDROLOGICKÝCH LETECH 2007 A 2008.....	70
TAB. 15: SROVNÁNÍ HODNOT PRŮTOKŮ A SPECIFICKÉHO ODTOKU BĚHEM JARNÍHO TÁNÍ.....	70
TAB. 16: KONTROLNÍ VYHODNOCENÍ VODNÍ BILANCE V HYDROLOGICKÉM ROCE 2007.....	71
TAB. 17: KONTROLNÍ VYHODNOCENÍ VODNÍ BILANCE V HYDROLOGICKÉM ROCE 2008.....	71
TAB. 18: KONTROLNÍ VYHODNOCENÍ VODNÍ BILANCE MEZI SNĚHOMĚRNÝMI KAMPANĚMI V ROCE 2008...	72

---

## SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1: SCHEMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ZÁKLADNÍCH TVARŮ LEDOVÝCH KRYSTALŮ .....	13
OBR. 2: VLIV VEGETACE NA AKUMULACI SNĚHOVÉ POKRÝVKY .....	14
OBR. 3: POKRYTÍ ÚZEMÍ ČR HYDROLOGICKÝMI PŘEDPOVĚDNÍMI SYSTÉMY.....	22
OBR. 4: SNĚHOVÝ POLŠTÁŘ INSTALOVANÝ V ZALESNĚNÉ LOKALITĚ .....	25
OBR. 5: TRAŤOVÉ SNĚHOMĚRNÉ SNÍMKY .....	27
OBR. 6: PŘEHLEDOVÁ MAPA ZÁJMOVÉ OBLASTI.....	31
OBR. 7: DÍLČÍ POVODÍ ROKLANSKÉHO POTOKA.....	32
OBR. 8: PŘEHLEDOVÁ MAPA POVODÍ ROKYTKY (PO HLADINOMĚR) A LETECKÝ SNÍMEK OBLASTI .....	33
OBR. 9: VÝŠKOVÉ A SKLONITOSTNÍ POMĚRY V POVODÍ ROKYTKY .....	34
OBR. 10: ROČNÍ CHOD MĚSÍČNÍCH ÚHRNŮ SRÁŽEK ZA OBDOBÍ 1961–1995 .....	35
OBR. 11: PRŮMĚRNÉ DENNÍ A MĚSÍČNÍ PRŮTOKY NA PROFILU VYDRA-MODRAVA V OBDOBÍ 1930–2002..	38
OBR. 12: ULTRAZVUKOVÝ HLADINOMĚR PROVOZOVANÝ PŘF UK NA ROKYTCE.....	41
OBR. 13: KONZUMPČNÍ KŘIVKA PRO PROFIL HLADINOMĚRU NA ROKYTCE.....	42
OBR. 14: SNĚHOMĚRNÁ SOUPRAVA SM 150-50 .....	44
OBR. 15: ROZSAH A TERMÍNY MĚŘENÍ.....	45
OBR. 16 : MĚŘENÍ PROVÁDĚNÉ U NEJVĚTŠÍHO JEZÍRKA ROKYTECKÝCH SLATÍ.....	46
OBR. 17: POLOHA VYBRANÝCH METEOROLOGICKÝCH STANIC .....	47
OBR. 18: SRÁŽKOVÉ ÚHRNY VYBRANÝCH STANIC ZA OBDOBÍ 1. 11. 2006 – 30. 4. 2007.....	50
OBR. 19: SRÁŽKOVÉ ÚHRNY VYBRANÝCH STANIC ZA OBDOBÍ 1. 11. 2007 – 30. 4. 2008.....	50
OBR. 20: POROVNÁNÍ DENNÍCH ÚHRNŮ SRÁŽEK V OBDOBÍ 1. 11. 2006 – 22. 1. 2007. ....	51
OBR. 21: ODVOZENÍ SRÁŽKOVÝCH ÚHRNŮ PRO POVODÍ ROKYTKY V SEZONĚ 2006/7 .....	52
OBR. 22: ODVOZENÝ CHOD SRÁŽEK V KALIBRAČNÍM OBDOBÍ.....	53

---

OBR. 23: ODVOZENÍ SRÁŽKOVÝCH ÚHRNŮ PRO POVODÍ ROKYTKY V SEZONĚ 2007/8 .....	53
OBR. 24: SRÁŽKOVÉ ÚHRNY VYBRANÝCH STANIC V JEDNOTLIVÝCH SEZONÁCH .....	54
OBR. 25: ODVOZENÝ CHOD SRÁŽEK NA FIKTIVNÍ STANICI ROKYTKA .....	54
OBR. 26: ZÁVISLOST PRŮMĚRNÝCH TEPLOT VZDUCHU NA NADMOŘSKÉ VÝŠCE VE SLEDOVANÉM OBDOBÍ. ....	56
OBR. 27: CHOD PRŮMĚRNÝCH DENNÍCH TEPLOT VZDUCHU NA ROKYTCE VE SLEDOVANÝCH OBDOBÍCH ...	56
OBR. 28: VÝVOJ CHARAKTERISTIK SNĚHOVÉ POKRÝVKY V SEZONĚ 2006/7 .....	58
OBR. 29: VÝVOJ CHARAKTERISTIK SNĚHOVÉ POKRÝVKY V SEZONĚ 2007/8.....	58
OBR. 30: MĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY SNĚHOVÉ POKRÝVKY, POVODÍ ROKYTKY 16. 2. 2007 .....	61
OBR. 31: PROSTOROVÉ ROZLOŽENÍ VODNÍ HODNOTY SNĚHU 16. 2. 2007 .....	61
OBR. 32: MĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY SNĚHOVÉ POKRÝVKY, POVODÍ ROKYTKY 19. 2. 2008 .....	64
OBR. 33: PROSTOROVÉ ROZLOŽENÍ VODNÍ HODNOTY 19. 2. 2008.....	64
OBR. 34: MĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY SNĚHOVÉ POKRÝVKY, POVODÍ ROKYTKY 2. 4. 2008 .....	65
OBR. 35: PROSTOROVÉ ROZLOŽENÍ VODNÍ HODNOTY 2. 4. 2008.....	65
OBR. 36: CHOD PRŮTOKŮ, SRÁŽEK A TEPLoty NA ROKYTCE V SEZONĚ 2006/7 .....	67
OBR. 37: CHOD PRŮTOKŮ, SRÁŽEK A TEPLoty NA ROKYTCE V SEZONĚ 2007/8 .....	67
OBR. 38: CHOD PRŮTOKŮ BĚHEM JARNÍHO TÁNÍ V HYDROLOGICKÉM ROCE 2007 .....	68
OBR. 39: CHOD PRŮTOKŮ BĚHEM JARNÍHO TÁNÍ V HYDROLOGICKÉM ROCE 2008 .....	69
OBR. 40: REŽIM CHODU HODINOVÝCH PRŮTOKŮ BĚHEM DNE PŘI JARNÍM TÁNÍ.....	69
OBR. 41: MĚSÍČNÍ CHOD PRŮTOKŮ NA ROKYTCE V HYDROLOGICKÉM ROCE 2007 .....	70
OBR. 42: MĚSÍČNÍ CHOD PRŮTOKŮ NA ROKYTCE V ČÁSTI HYDROLOGICKÉHO ROKU 2008 .....	71
OBR. 43: SROVNÁNÍ CHODU VÝŠKY SNĚHOVÉ POKRÝVKY V OBDOBÍ TÁNÍ 2007 .....	72

---

## **SEZNAM PŘÍLOH**

CD s elektronickou verzí práce ve formátu pdf